Estratégias de manutenção hospitalar: Aplicação à Ressonância Magnética Nuclear

João Jorge Azevedo Durão Carvalho

Licenciado em Engenharia Mecânica
pelo Instituto Superior Engenharia de Lisboa

Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre
em Manutenção Industrial

Dissertação realizada sob a orientação do Professor Doutor Luís Andrade Ferreira, do Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Porto, Junho de 2007

Resumo

No presente estudo faz-se uma descrição do universo das tecnologias hospitalares para compreensão da necessidade das metodologias de gestão adoptadas na sua manutenção.
São abordados os conceitos de risco e de falha e a consequente necessidade de adopção de uma metodologia de manutenção centrada na fiabilidade, não esquecendo que o custo do ciclo de vida assume cada vez mais e maior importância ao que os fabricantes respondem com equipamentos cada vez mais fiáveis.
Apresentado e descrito o equipamento seleccionado para estudo, a Ressonância Magnética Nuclear, descreve-se a metodologia adoptada com o objectivo de identificar e reduzir a probabilidade de ocorrência das falhas cujas consequências são de elevada criticidade para o processo de prestação de cuidados de saúde em que se insere.
Elaborado o estudo com utilização das análises HAZOP (HAZard and OPeratibility) e FMECA (Failure Mode Effects and Criticality Analisys) foram identificadas os modos de falha que originaram paragem do equipamento. Para aplicação da metodologia RCM (Reliability Centered Maintenance) foram estudados três modos de falha e proposta a eliminação de dois deles o que terá como consequência o aumento da fiabilidade e da disponibilidade do equipamento.

Palavras-chave: Estratégias manutenção hospitalar, Ressonância Magnética Nuclear, RMN, fiabilidade, disponibilidade, RCM, HAZOP, FMECA.

Abstract

This study presents a description of the hospital technologies universe to understand the necessity of the management methodologies adopted in their maintenance.

The risk and failure concepts are treated with the consequent necessity of adoption of a maintenance methodology centred in reliability, not forgetting that life cycle cost assumes more and higher importance at what manufacturers replay continuously with more reliable equipment.

Presented and described the equipment selected for study, the Nuclear Magnetic Resonance, the adopted methodology is described seeking the goal to identify and reduce the probability of failure with high criticality consequences for the health care process where the equipment is working for.

HAZOP (HAZard and OPeratibility) and FMECA (Failure Mode Effects and Criticality Analisys) tools were used in the study to identify the failure modes responsible for equipment not working. The RCM methodology was applied to the three failure modes studied with an output proposal to eliminate two of them therefore increasing the equipment reliability and availability.

Keywords: Hospital Maintenance Strategies, Nuclear Magnetic Resonance, NMR, reliability, availability, RCM, HAZOP, FMECA.

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Luís Andrade Ferreira cuja orientação foi decisiva para a realização desta tese de mestrado quer pelas opções sensatas e realistas apontadas quer pela confiança transmitida quanto ao sucesso das mesmas.

Ao Engenheiro António Matos Guerra, Professor-Coordenador do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEL, pela disponibilização permanente de instalações que constituíram apoio importante á realização do trabalho.

Á Philips Sistemas Médicos nas pessoas do Engenheiro Manuel Eugénio e do Engenheiro Carlos Oliveira pela pronta disponibilização dos recursos da empresa necessários á elaboração desta tese. Em particular, ao Engenheiro Nuno Pereira pelo fornecimento de informação sobre a manutenção da RMN instalada no Hospital de Santa Maria e pela sua permanente disponibilidade para prestar os esclarecimentos pedidos.

Índice

Índice de Figuras 13

Índice de Tabelas 15

Lista de Abreviaturas 17

Lista de Símbolos 19

Glossário 21

Capítulo 1 - Introdução 23

Capítulo 2 – Estratégias de manutenção hospitalar 29

2.1 - O universo das tecnologias hospitalares 29
2.2 – A gestão da manutenção hospitalar 41
2.2.1 – Modelo EUT (Eindhoven University of Technology) de manutenção 41
2.2.2 – Modelo TQMain de manutenção (Total Quality Maintenance) 42
2.3 – Conclusões do capitulo 44

Capítulo 3 – Estratégia de manutenção do equipamento médico 45
3.1 - O risco clínico – cultura de segurança 45
3.2 - Conceito de falha 47
3.3 – A estratégia RCM na manutenção do equipamento médico 48
3.4 – Custo do ciclo de vida 50
3.5 – Selecção do equipamento estudado 51
3.6 – Conclusões do capitulo 52

Capítulo 4 – A Ressonância Magnética Nuclear 53
4.1 - Princípios físicos 53
4.1.1 - Propriedades nucleares 53
4.1.2 – O fenómeno da ressonância e da excitação dos núcleos 56
4.1.3 – Processo de relaxação 57
4.1.4 – Sinal FID (Free Induction Decay) 60
4.1.5 – Influencia da densidade protónica e dos tempos de relaxação na imagem 62
4.1.6 – A técnica Spin Eco 64
4.2 – A Formação da imagem 66

4.2.1 – Gradientes de campo magnético 66
4.2.2 – Selecção do corte 67
4.2.3 – Codificação de fase 69
4.2.3 – Codificação em frequência 69
4.2.4 – A imagem 70

Capítulo 5 – Metodologia adoptada no estudo da manutenção da RMN 83
5.1 – Introdução - Objectivos da metodologia 83
5.3 – Análise HAZOP 86
5.4 – Análise FMECA 86
5.4.1- Definição de Critérios de acordo com a Norma Americana MIL-STD-1629A 87
5.4.2- Definição de Critérios de acordo com a metodologia RPN 88
5.4.3- Quadros de analise FMECA 92
5.5 – Metodologia RCM 92
5.6 – Conclusões do capítulo 93

Capitulo 6 - Aplicação da metodologia anterior à manutenção da RMN 95
6.1 – Identificação das falhas 95
6.2 – Análise HAZOP 95
6.3 – Análise FMECA 98
6.4 – Análise de risco 99
6.5 – Revisão do planeamento da manutenção com base na metodologia RCM e na disponibilidade 100
6.7 – Conclusões do capitulo 105

Capítulo 7 – Conclusões gerais e perspectivas de trabalho futuro 107

Referências 109

ANEXO - A 111

ANEXO - B 115

ANEXO - C 117

ANEXO - D 119

ANEXO - E 157

ANEXO - F 161

ANEXO - G 167

ANEXO - H 175

ANEXO - I 179

Índice de Figuras

Figura 1 - Posto de transformação do HSMaria…………………………………….…..29
Figura 2 - Unidades de tratamento de ar da Radioterapia do HSM…………..…………..30
Figura 3 - Central produtora de ar comprimido medicina…………………………………32
Figura 5 - Aparelho de anestesia……………………………………………………….…34
Figura 6 - Monitor desfibrilhador…………………………………………………………34
Figura 4 - Monitor multiparâmetro……………………..……………………….……..34
Figura 7 - Pletismógrafo…………………………………………………………..……..35
Figura 8 - Gama-câmara…………………………………………………………...…36
Figura 9 - Broncoscópio flexível………………………………………………….…..…37
Figura 10 - Autoclaves a vapor saturado……………………………………………......38
Figura 11 - Sala de operações vendo-se em primeiro plano a mesa de cirurgia com tampo em pedestal. Notar o tecto filtrante com o suporte do candeeiro ao centro........39
Figura 12 - Movimento angular do protão gera momento magnético……………………..53
Figura 13 - Núcleos de hidrogénio na ausência de campo magnético………..…………..54
Figura 14 - Núcleos de hidrogénio sujeitos a um campo magnético……………………...55
Figura 15 - Movimento de precessão de um núcleo de hidrogénio sujeito a um campo magnético…………………………………………………………………55
Figura 16 - Excitação de um núcleo com o vector magnetização M a descrever um movimento de precessão desde a posição de equilíbrio até á posição perpendicular aquela…...........………………………………………………56
Figura 17 - Relaxação transversal e longitudinal…………………………….……………57
Figura 18 - Relaxação transversa1……………………………………...…………………58
Figura 19 – Relaxação longitudinal e aumento da magnetização caracterizado pela constante de tempo T_1..59
Figura 20 - Decaimento do sinal Mxy durante a precessão de Larmor……………….….60
Figura 21 – Decaimento do sinal FID……………………………………………………….61
Figura 22 – Contraste em T1……………………………………………………..……63
Figura 23 – Contraste em T2……………………………………………………..….…64
Figura 24 - Diagrama de impulsos, sinais e tempos para a tecnica Spin Eco……………..65
Figura 25 - Desfasamento dos momentos magnéticos na técnica Spin Eco…………..….65

Figura 26 – Selecção do corte……………………………………………………….….67

Figura 27 – Espessura do corte…………………………………………………….68

Figura 28 – Função sinc transforma-se em onda rectangular por aplicação da TF………..68

Figura 29 – Gradiente de codificação de fase…………………………………...…69

Figura 30 – Codificação em frequência através do gradiente Gx……………………....70

Figura 31 – Sequência de aplicação dos gradientes……………………………………71

Figura 32 – A imagem de Nx*Ny pixels…………………………………………………71

Figura 33 – Variação de contraste com os parâmetros ponderados:……………….…..73

Figura 34 – Diagrama de blocos da RMN…………………………………………...74

Figura 35 – Implantação típica de um equipamento de RMN…………………..……..75

Figura 36 - Localização típica das bobines na RM………………………………….……77

Figura 37 – A: Antena tipo sinergia para coluna total; B: Antena tipo quadratura para cabeça; C: Antena tipo quadratura para extremidades; D: Antena abdominal e torácica…...78

Figura 38 – Blindagem de RF……………………………………………………….……80

Figurer 39 – RMN Gyroscan T5-NT do H. Stª…………………………………...….83

Figura 40 - Fluxograma da metodologia adoptada no estudo da RMN……………...……84

Figura 41 - Quadro FMECA utilizado………………...…………………………...……92

Figura 42 - Distribuição das avarias no amplificador de RF…………………………..…101

Figura 43 - Amplificador de RF………………………………...…………………..102

Figura 44 - Distribuição das avarias da alimentação do bastidor de aquisição de dados...105

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Características dos núcleos atómicos 54
Tabela 2 - Tempos de relaxação para vários tecidos humanos 59
Tabela 3 - Variação espacial de frequência com o gradiente 67
Tabela 4- Actividade da RMN 83
Tabela 5 - Valores de β 88
Tabela 6 - Valores de Ocorrência 89
Tabela 7 - Consequências funcionais da falha 90
Tabela 8 - Tempo de reparação 90
Tabela 9 - Tabela de severidade 91
Tabela 10 - Níveis de severidade 91
Tabela 11 - Identificação dos conjuntos com potenciais falhas que provocam a não execução de exames 96
Tabela 12 - Análise HAZOP - Conjuntos com avarias que provocam a não execução de exames 97
Tabela 13 - Comparação de análises HAZOP 97
Tabela 14 - Manutenção preventiva para a mesa de suporte do doente 98
Tabela 15 - Criticidade dos modos de falha 99
Tabela 16 - Lista dos modos de falha com paragem do equipamento 100
Tabela 17 - Tabela de manutenções do amplificador de RF 102
Tabela 18 - Tabela de manutenções da bobine de gradiente 103
Tabela 19 - Tabela de manutenções da unidade de alimentação do bastidor de aquisição de dados 104
Tabela 20 - Acções de correcção 105

Lista de Abreviaturas

AVAC – Aquecimento, ventilação e ar condicionado

ECG – Electrocardiograma

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

ETARI – Estação de Tratamento de Águas Residuais Infectadas

EUT - *Eindhoven University Technology*

FAA – *Federal Aviation Administration*

FID – *Free Induction Decay*

FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis*

FMECA – *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*

HAZOP – *HAZard and OPerability*

HSM – Hospital de Santa Maria

IP – Protocolo de Internet (*Internet Protocol*)

ISO – *International Organization for Standardization*

LCC – Ciclo do custo de vida (*Life-cycle cost)*

MIL-Std – *Military Standards*

MP – Manutenção Preventiva

MTBF – Tempo médio entre falhas (*Mean Time Between Failures*)

MTTR – Tempo médio de reparação (*Mean Time To Repair*)

OEM – *Original Equipment Manufacturer*

OPE – *Overall Process Effectiveness*

PET – Tomografia por Emissão de Positrões (*Positron Emission Tomography)*

RCM – Manutenção centrada na fiabilidade (*Reliability Centered Maintenance*)

RF – Radiofrequência

RMN – Ressonância Magnética Nuclear

RM – Ressonância Magnética

RPN – Número de prioridade do risco (*Risk Priority Number*)

RX – Raio X

SAE – *Society of Automotive Engineers*

SIE – Serviço de Instalações e Equipamentos

SNS – Serviço Nacional de Saúde

TE – Tempo de Eco

TF – Transformada de Fourier

TPM – Manutenção produtiva total (*Total Productive Maintenance*)

TQMain – *Total Quality Maintenance*

TR – Tempo de Repetição

UPS – Unbreakable Power Suplier

Lista de Símbolos

α – Contribuição do modo de falha para a falha do componente

β – Probabilidade condicional da ocorrência do modo de falha

γ – Relação giromagnética do protão [MHz/Tesla]

λ_p – Taxa de avarias do modo de falha

ω_L – Frequência de Larmor

B_0 – Campo magnético estático [Tesla]

B_1 – Campo electromagnético gerado pela RF

C_m – Número de criticidade para o modo de falha

C_r – Número de criticidade para o componente

D – Detecção /RPN

ET – Estatística do teste

G_x – Gradidente segundo o eixo x

G_y – Gradidente segundo o eixo y

G_z – Gradidente segundo o eixo z

ºK – Graus Kelvin (temperatura absoluta)

M_{xy} – Módulo do momento magnético segundo o plano XY (magnetização transversal)

M_z – Módulo do momento magnético segundo o eixo Z (magnetização longitudinal)

Mo - Módulo do momento magnético inicial do campo estático

O – Ocorrência /RPN

p.p.m. – Partes por milhão

S – Severidade /RPN

T – Tesla

Ti – Momento de ocorrência da falha contado a partir do inicio dos tempos

T_0 – Tempo total de análise

Tp – Tempo de paragem

Glossário

Artefacto: componente de sinal bioeléctrico ou hemodinâmico alheia ao fenómeno que lhe deu origem e na sua visualização e registo tratada como ruído.

Avaria: resultado de um ou vários acontecimentos que colocam um sistema e/ou os seus constituintes (subsistemas, conjuntos, subconjuntos e componentes) num estado em que este é impedido de executar a função requerida.

Causa da falha: processos químicos ou físicos, defeitos de projecto, defeitos de qualidade, ou outros processos que conduzem à falha ou que iniciam o processo físico de deterioração que conduz à falha.

Componente: peça ou conjunto de peças indivisíveis funcionalmente.

Conjunto: grupo de componentes.

Criticidade: medida relativa das consequências de um modo de falha.

Detectabilidade: medida da capacidade de identificação de possíveis avarias dos componentes antes de estas ocorrerem.

Disponibilidade: capacidade do activo físico se encontrar num estado de executar uma função requerida sob dadas condições e num determinado momento ou intervalo de tempo, assumindo que os recursos externos necessários são fornecidos.

Efeitos da falha: consequências que um modo de falha tem na operação, função ou estado de um componente.

Falha: estado no qual um activo físico ou sistema se encontra em que não é capaz de realizar a função requerida com um nível de desempenho desejado.

Fiabilidade: probabilidade de um item poder executar uma função requerida sob determinadas condições durante um dado intervalo de tempo.

Manutibilidade: probabilidade de uma acção de manutenção, para um elemento sobre determinadas condições de utilização, poder ser executada dentro de um intervalo de tempo estabelecido, quando a manutenção é realizada nas condições pré estabelecidas e com utilização de procedimentos escritos e recursos pré definidos.

Manutenção: combinação de todas as acções técnicas e administrativas, incluindo as acções de supervisão, com o objectivo de manter ou repor o activo físico num estado no qual pode executar uma determinada função.

Manutenção correctiva: manutenção efectuada após o reconhecimento de uma avaria com a intenção de colocar o item num estado de executar a função requerida.

Manutenção preventiva: manutenção executada em intervalos pré determinados ou de acordo com os parâmetros de condição dos equipamentos, com o objectivo de reduzir a probabilidade de avaria ou degradação do funcionamento de um item.

Modo de falha: a forma como o componente pode falhar. Geralmente descreve a forma como a falha ocorre e se manifesta.

Morbilidade: representa a probabilidade dos expostos a riscos contraírem doenças.

Ocorrência: representa o número relativo de avarias de um determinado componente.

Risco: combinação da probabilidade de ocorrência ou frequência de ocorrência dum acontecimento ou combinação de acontecimentos que podem conduzir a uma situação potencialmente perigosa.

Segurança: ausência de risco não aceitável.

Severidade: gravidade do efeito de um modo de falha para o processo produtivo.

Sistema: grupo de conjuntos que estão interligados de forma a cumprirem uma função específica.

Taxa de avarias: número de avarias por unidade de tempo.

Tempo de operação: tempo de funcionamento do item em unidades de tempo desempenhando a função requerida.

Capítulo 1 - Introdução

A manutenção dos 92 Hospitais integrados na rede do Serviço Nacional de Saúde (SNS), constitui hoje um encargo apreciável e que se estima em 4% do orçamento daqueles Hospitais. Mais importante que os recursos financeiros são os resultados obtidos cuja avaliação não se faz porque não existem indicadores adequados tais como os MTBF (Mean Time Betwin Failure) e os MTTR (Mean Time to Repair), quer dos equipamentos quer das instalações, bem como as respectivas disponibilidades. Particularmente importante e com interesse estratégico são os índices de utilização referidos à disponibilidade, estes condicionantes e condicionados pela manutenção, mas também inexistentes.

A ausência de sistemas de informação impede a gestão da manutenção e deixa liberdade para decisões que, sendo adoptadas sem qualquer base científica, acabam por aumentar as ineficiências e os custos. A cultura vigente do imediatismo e das medidas fáceis sobrepõe-se à boa gestão cuja adopção implica competência e isenção. É neste contexto que a contratação externa total surge milagrosamente mais barata, como alternativa à utilização de recursos próprios, sem avaliação competente da situação, sem tentativa de aumento de eficiência dos recursos existentes e com total desconhecimento das suas consequências futuras.

Geraerds (1992), sobre a necessidade de utilização de recursos externos justifica-os para resposta a picos de trabalho e/ou para cobertura de responsabilidades especiais e/ou ainda para tarefas de elevada especialização, devendo ser sempre claramente definida a actividade a contratar. Refere ainda a importância de contratar os OEM (Original Equipment Manufacturer) mas chamando a atenção para os possíveis elevados preços face à inevitabiliade da sua contratação pelo que a aquisição de equipamentos não pode basear-se apenas no preço mas sim no custo do ciclo de vida.

Em Sherwin (2000), é referido que os ganhos em manutenção são obtidos reduzindo os tempos de paragem e efectuando a manutenção fora dos períodos de utilização, o que é difícil em regime de outsourcing. Refere ainda que neste regime os custos de não produção resultantes de problemas da manutenção recaem na produção e não são contabilizados na manutenção cujo orçamento foi fechado apenas com o custo do contrato.

Levery (1998), comenta que muitas vezes a subcontratação de serviços de manutenção se faz na ilusão de que esta irá conduzir a menores custos, maior produtividade, a melhor controlo de activos e à obtenção de maior grau de especialização. Refere ainda que esta

visão de curto prazo tem algumas vantagens imediatas mas, a médio e longo prazo, pode conduzir a um pior desempenho e a menor disponibilidade de activos.

Campbell (1995), referindo-se à subcontratação de serviços de manutenção, considera indispensável a existência de uma estratégia de subcontratação devidamente monitorizada pela equipa de manutenção própria à entidade contratante de forma a garantir que as vantagens esperadas serão realmente usufruídas. A estratégia adoptada deve ter em conta que o maior risco é a perda de competências criticas pela organização.

Daryl Mather (2005), ao desenvolver as relações entre Dono do Equipamento/Gestor do Equipamento (Asset Owner/Asset Manager) refere que no compromisso entre ambos também existem factores comerciais que não existem quando o Dono coincide com o Gestor. Na perspectiva do Dono do Equipamento o risco, nomeadamente quanto a segurança, a desastres ambientais, a perda de lucros, de mau investimento ou o risco de receber de volta do Gestor equipamentos num estado inferior ao desejado, é uma preocupação. Na perspectiva do Gestor do Equipamento a preocupação primária é manter as margens de lucro. Neste contexto é necessário para ambos, Dono e Gestor, terem conhecimento dos níveis de manutenção que o equipamento irá necessitar tendo em vista o nível de risco adequado.

As citações anteriores demonstram que a contratação de serviços externos de manutenção não é pacífica, acarreta problemas ainda não resolvidos face à contradição de interesses e à dimensão e qualificação da subcontratação face à dimensão e qualificação dos recursos internos.

Nos Hospitais esta questão está hoje na ordem do dia, podendo identificar-se alguns actos de gestão que, sem suporte técnico, conduziram a manutenção para situações irreversíveis de outsourcing total.

Isto apesar do debate que nos últimos anos os engenheiros da manutenção hospitalar têm travado em seminários, congressos, etc. identificando os problemas e as suas causas e que no essencial se traduzem por:

- Inexistência de uma organização tipo para os serviços de instalações e equipamentos hospitalares, criada com base em critérios predefinidos e assente em modelos de manutenção conhecidos e experimentados;
- Utilização de aplicações informáticas sem capacidade para produzir os indicadores adequados e não constituindo uma verdadeira ferramenta de gestão da manutenção;
- Desinvestimento em recursos humanos, pela sua não contratação, pela precariedade de vínculos e pela ausência de formação;

- Ausência de orçamentos e planos de actividades de manutenção;
- *Em resumo a concepção errada da manutenção hospitalar como um custo que importa eliminar e não como um factor de produção cuja eficiência urge aumentar.*

Para alem das causas referidas podem identificar-se outras, de natureza politica, externas à manutenção e aos próprios hospitais:

- A transformação dos Hospitais, primeiro em Sociedades Anónimas e depois em Entidades Publicas Empresariais, aumentando a sua autonomia ficaram mais afastados da tutela do Ministério da Saúde. Esta medida, supostamente positiva não gerou até ao momento nenhum benefício conhecido mas já se traduziu nalgumas aventuras de gestão da manutenção;
- A extinção da Direcção Geral de Instalações e Equipamentos de Saúde com a sua integração na Administração Central de Saúde e a integração das respectivas Direcções Regionais nas Administrações Regionais de Saúde pulverizaram, desarticularam, reduziram os recursos e os conhecimentos em engenharia hospitalar. Os serviços de engenharia dos hospitais ficaram mais isolados e eventuais expectativas de apoio técnico foram definitivamente afastadas.

Apesar do quadro negativo apresentado o desenvolvimento tecnológico é imparável e as contradições existentes no próprio sistema, pesem os custos das experiências de alguns gestores, terão como consequência a evolução da manutenção e a sua contribuição para a sustentabilidade do Serviço Nacional de Saúde.
A interligação entre o mundo hospitalar e a actividade académica na área da engenharia será também um factor de mudança para o muito que há para fazer.
Face ao que foi descrito entenda-se o presente trabalho também como uma contribuição para a mudança abordando aspectos gerais da manutenção hospitalar e a manutenção de um equipamento de RMN (Ressonância Magnética Nuclear) e que foi desenvolvido em sete capítulos.

Ao presente Capitulo segue-se o segundo Capitulo – **Estratégias de manutenção hospitalar** – no qual se descreve o variado universo das tecnologias hospitalares organizadas em duas grandes áreas: as instalações técnicas e os equipamentos médico-cirúrgicos. Abordam-se dois modelos de organização e gestão da manutenção cujo perfil se

poderá adoptar ao universo da saúde. São os modelos de manutenção EUT (Eindhoven University Technology) e TQMain (Total Quality Maintenance).

No terceiro Capitulo – **Estratégia de manutenção do equipamento médico** – aborda-se o conceito de risco clínico e de cultura de segurança, bem como o conceito de falha. Estabelece-se um paralelo entre o desenvolvimento da rede hospitalar e da manutenção e descreve-se sumariamente o RCM. Acentua-se a importância das decisões de compra passarem pelo ciclo de vida e a influencia deste conceito nas recentes opções de fazer o "negócio". Por fim apresentam-se as razões que conduziram à escolha da RMN para elaboração do presente estudo.

No quarto Capitulo – **A Ressonância Magnética Nuclear** – descrevem-se os princípios físicos nos quais se baseia a obtenção de sinais de radiofrequência por ressonância desta com a frequência de precessão dos núcleos de Hidrogénio dos tecidos em análise. Passa-se á descrição da técnica base utilizada na construção de imagens a partir dos sinais recolhidos de RF (Rádio Frequência) depois de codificados e a uma muito breve interpretação da imagem. Conclui-se o capítulo com a apresentação da arquitectura do sistema e dos componentes mais relevantes.

No quinto Capitulo – **Metodologia adoptada no estudo da manutenção da RMN** – apresenta-se o equipamento em estudo propriamente dito bem como a sua actividade. Descreve-se a metodologia adoptada no estudo e que começou pela recolha de dados nos formulários em anexo, seguida de uma análise HAZOP para identificação de conjuntos críticos. Foi ainda elaborada uma nova análise HAZOP sobre as falhas ocorridas e uma análise FMECA das 37 falhas com a criticidade avaliada quantitativamente pela Norma MIL-STD-1629A e qualitativamente pela RPN (Risk Priority Number). Os valores da severidade tiveram uma abordagem tão objectiva quanto possível, tendo na sua avaliação sido consideradas as consequências funcionais e a duração das falhas. Foram apresentados os quadros FMECA a preencher bem como a metodologia RCM e os critérios de selecção das avarias a evitar por alteração do plano de manutenção.

No sexto Capitulo **- Aplicação da metodologia anterior à manutenção da Ressonância Magnética –** aplicou-se a metodologia definida no capitulo anterior. Foi efectuada uma análise HAZOP das possíveis falhas e, tendo sido identificadas as falhas ocorridas durante dois anos, foi também elaborada uma análise destas falhas e relacionados os resultados com a manutenção. Através da análise FMECA foi elaborada uma tabela de criticidade dos modos de falha e, na selecção daqueles que devem ser eliminados, utilizaram-se os

parâmetros *fiabilidade* e *disponibilidade*. Seguidamente, com base na metodologia RCM e na disponibilidade foi elaborada uma revisão do plano de manutenção.

No sétimo Capitulo – **Conclusões gerais e perspectivas de trabalho futuro** – apresentam-se as ideias fundamentais sobre manutenção hospitalar e construídas ao longo do trabalho salientando-se a importância dos parâmetros fiabilidade e disponibilidade no desempenho das instalações e dos equipamentos críticos na prestação de cuidados de saúde. Apresentam-se ainda as conclusões referentes à manutenção do equipamento bem como as perspectivas de realização futura de estudos nesta área face à disponibilidade de uma nova e potente ferramenta informática recentemente adquirida.

Em apêndice a este trabalho juntam-se:

ANEXO A – Diagramas do equipamento;

ANEXO B – Mapa de obras correctivas;

ANEXO C – Mapa de obras preventivas;

ANEXO D – Inquérito de caracterização das falhas;

ANEXO E – Análise HAZOP de falhas potenciais por conjunto;

ANEXO F – Análise HAZOP da lista de falhas ocorridas durante dois anos;

ANEXO G – Análise FMECA;

ANEXO H – Taxa de varias – Teste de Laplace;

ANEXO I – Mapa de cálculo da severidade

Capítulo 2 – Estratégias de manutenção hospitalar

Neste capítulo vamos abordar aspectos globais da organização da manutenção hospitalar tendo em conta a realidade actual e as preocupações dos gestores de manutenção. Importa por isso transmitir a variedade e complexidade dos equipamentos e das instalações objecto de manutenção e das tecnologias envolvidas.

2.1 - O universo das tecnologias hospitalares

As instalações e os equipamentos hospitalares constituem um universo muito variado de tecnologias e de funcionalidades cuja manutenção envolve recursos financeiros vultuosos, equipas de engenharia com saber e experiência muito diversificadas e grande envolvimento do pessoal clínico.

Iniciando a sua identificação pelas instalações podemos enumerar as seguintes instalações técnicas:

- **Instalações e equipamentos eléctricos** cuja função é fornecer energia eléctrica aos equipamentos eléctricos gerais tais como sistemas de bombagem, transporte, confecção de alimentos, tratamento de roupa, etc., aos sistemas de iluminação, ao equipamento médico-cirúrgico em geral e às unidades especiais que podem ser apenas unidades de cuidados intensivos e blocos operatórios de um hospital distrital ou unidades de transplante de medula óssea ou de queimados, estas apenas existentes nos hospitais centrais. De acordo com a dimensão do hospital estas instalações podem apresentar-se com potências instaladas de alguns milhares de KVA até mais de uma dezena de milhar de KVA. Todas apresentam hoje condições de segurança em duas vertentes – a garantia de continuidade de serviço e a protecção contra correntes de fuga. O primeiro aspecto, a continuidade de serviço, obtém-se por redundância de circuitos, por redundância de fontes nomeadamente com grupos geradores eléctricos próprios e, em áreas criticas ainda com fontes ininterruptas de energia, vulgo UPS

Figura 1- Posto de transformação do HSMaria

(unbreakable power suply). O segundo aspecto, a protecção contra correntes de fuga, pode variar de 50 µA, norma CEI601, para aplicações médicas quando da existência de um primeiro defeito com circulação de correntes através de eléctrodos aplicados ao paciente, ate 300mA na protecção diferencial de aparelhos industriais.

- **Comunicações** abrangendo imagem, voz e dados. Trata-se de uma área em rápido desenvolvimento que há muito poucos anos se traduziam na existência de uma rede estruturada para dados e voz, esta em sinal analógico. A evolução tecnológica e a redução de custos do processamento e armazenamento de imagem nos últimos cinco anos tiveram como consequência que muitos hospitais substituíram os equipamentos analógicos por outros de produção digital de imagem, passando esta a estar disponível na rede para a actividade clínica. Os ainda elevados investimentos iniciais são rapidamente amortizados pela redução de consumos, nomeadamente revelações e acetatos de suporte, para além dos ganhos em eficiência resultantes da disponibilidade da informação e da redução de duplicações. Com a utilização de voz sobre IP encontramo-nos hoje a caminho da digitalização total.
- **Segurança,** que engloba a redes de detecção de incêndios, segurança contra intrusão, controlo de acessos e vídeo-vigilância. Os sistemas referidos são suportados pela rede única de comunicações com excepção da detecção de incêndios que, por razões de segurança, é suportada por rede própria exclusiva.
- **Redes e equipamentos de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC)**, cujo papel no hospital ultrapassa muito o estabelecimento de condições de conforto. Efectivamente para além do respeito pelo Regulamento de Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, DL 118/98, deve ainda respeitar a "Tipificação das instalações de AVAC", elaborada pela Direcção Geral de Instalações e Equipamentos de Saúde em 1998. Estas instalações são um instrumento essencial à segurança microbiológica em áreas especiais tais como blocos operatórios, unidades

Figura 2- Unidades de tratamento de ar da Radioterapia do HSM

de cuidados intensivos, unidades de transplante, unidades de queimados, etc. às quais são atribuídas classes de limpeza do ar em concentração e dimensão das partículas em suspensão de acordo com a Norma ISO CD14644-1 (1996). Os níveis de limpeza do ar e correspondente assepsia são obtidos pela sua filtragem e taxa de renovação, o que deve ser assegurado pela Manutenção em boas condições de eficiência face aos elevados custos dos elementos filtrantes. A montante das utilizações salienta-se a existência de uma pesada infraestrutura de transporte e produção de energia térmica cuja estrutura e fonte primária de energia são essenciais para a melhoria do indicador de eficiência energética do edifício. A produção de fluidos térmicos, fluido quente e fluido frio, podem assentar em caldeiras utilizando óleos pesados ou gás, máquinas frigoríficas com alimentação eléctrica, máquinas frigoríficas de absorção, cogeração ou sistemas combinados. É desejável, tal como acontece em alguns hospitais, os sistemas que acabamos de referir sejam geridos por um sistema de gestão técnica centralizada suportado pela rede de comunicações.

- **Redes de distribuição de água sanitária,** normalmente quente e fria. A rede de água fria, dependendo da zona do país poderá ser dotada de instalação de filtragem e de descalcificação, mas sempre com instalação de pressurização. Dependendo da garantia de abastecimento é vulgar encontrar reservas suficientes para o consumo de 24 horas. Estas reservas são habitualmente também utilizadas como segurança no combate a incêndios, com rede própria e sistema de pressurização independente entre outras razões porque as suas pressões nominais são diferentes. À rede de água quente encontra-se associado o respectivo sistema de aquecimento que pode ser por permutadores de vapor saturado, em desuso, por permutadores de placas com alimentação pela rede térmica já referida antes quando descentralizado o aquecimento, pelo sistema de cogeração quando existente, por painéis solares, tecnologia raramente utilizada ou por sistema combinado composto por duas das soluções anteriores.
- **Redes de águas residuais e pluviais** com total separação entre elas. Enquanto que a descarga das águas pluviais não constitui problema o mesmo não acontece com as residuais cujas características variam de acordo com a actividade clínica do hospital. No mesmo hospital encontram-se descargas do tipo doméstico a par de outras contaminadas quimicamente pela actividade laboratorial, em particular a Anatomia Patológica, potencialmente contaminadas biologicamente pela actividade da Infecciologia e até com contaminação radioactiva em resultado da actividade da Medicina Nuclear, quando existe. Sendo vulgar a existência de descarga única na

redes municipais é vulgar a existência de separação de redes no interior do hospital e nalguns casos a existência de Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) ou de Estação de Tratamento de Águas Residuais Infectadas (ETARI). A multiplicidade de soluções ou ausência delas significa que o problema não está convenientemente estudado. Só em 2005 foram apresentados pelo Ministério da Saúde os resultados do estudo de caracterização do efluente de vários hospitais, elaborado pelo Laboratório de Engenharia Civil. Em simultâneo foi também efectuada uma avaliação dos mesmos efluentes pelo Instituto Tecnológico Nuclear.

- **Redes e centrais de gases medicinais**, de oxigénio, ar comprimido, protoxido de azoto e vácuo. Este não sendo um gás, mas antes a ausência de ar, é tratado como tal. O ar comprimido e o vácuo são produzidos no próprio hospital em centrais específicas com elevados níveis de pureza e de protecção ambiental, respectivamente.

Figura 3- Central produtora de ar comprimido medicinal

O oxigénio e o protóxido de azoto são normalmente adquiridos no estado líquido e evaporados em depósitos criogénicos que abastecem as respectivas redes. Pela sua importância terapêutica e de suporte de vida estes sistemas são objecto de atenção especial pelos serviços de engenharia dos hospitais.

- **Despoluição de gases anestésicos** existente em salas de operações e em todas as salas de técnicas com uso de anestesia. É um sistema crítico sem o qual não pode ser utilizada a anestesia. Tem como função recolher os gases expirados pelo doente carregados de gases anestésicos e eliminá-los para o exterior. A sua dispersão no interior da sala e eventual eliminação apenas pelo sistema de ar condicionado terá como consequência uma elevada concentração na sala e a sua inspiração pelos profissionais. No imediato esta situação poderá gerar alterações no comportamento da

equipa cirúrgica colocando em risco o próprio doente. A longo prazo terá como consequência doenças profissionais do foro hepático. A medição periódica dos níveis de N_2O e halogenados na sala é uma responsabilidade da Manutenção. O sistema de despoluição de gases anestésicos é constituído pelo sistema de bombagem para o exterior, cuja instalação deve estar de acordo com a Norma ISO7396-2:2000 e pelo sistema de transferência e recolha de gases da expiração do doente de acordo com a Norma ISO8835-3:1997.

- **Sistemas de transporte** de doentes, de acompanhantes, de profissionais, de consumíveis clínicos, de medicamentos, de alimentos, de roupas, etc. desenvolvem-se de acordo com a arquitectura do edifício hospitalar. O transporte vertical faz-se por elevadores sendo vulgar a separação de pessoas e doentes, materiais sujos e materiais limpos. Para cada tipo de materiais é adoptada contentorização própria e regras de transporte específicas cuja descrição sai fora do âmbito do presente trabalho. Importa no entanto referir que começaram a ser utilizados no transporte horizontal sistemas guiados, vulgo "robot", permitindo a planificação dos transportes internos.
- **O edifício** propriamente dito, no que se refere às suas estruturas de alvenaria, metálicas e carpintarias deve ser objecto de atenção por parte da manutenção na medida em que da sua qualidade dependem as condições de conforto dos seus utilizadores e as medidas passivas de poupança energética.
- **Outras instalações e equipamentos** poderão ou não ser relevantes para a manutenção tais como cozinhas, lavandarias, câmaras frigoríficas, etc.. É corrente a aquisição de serviços nestas áreas, mas mesmo com utilização de equipamento do hospital a responsabilidade da sua manutenção é transferida para o prestador.

Os equipamentos médico-cirúrgicos com uma contribuição directa na prestação de cuidados aos doentes são, em muitos casos, uma forma de aferir o nível e a qualidade daqueles cuidados. Para gestão da sua manutenção é indispensável sistematizar a organização dos equipamentos de acordo com a sua funcionalidade e tecnologia.

- **Equipamento de vigilância de funções vitais** para monitorização da actividade cardíaca, respiratória, circulatória e monitorização de diversos parâmetros físicos. São os monitores multiparâmetro que dispõem de capacidade para medição em regime não invasivo da temperatura, do electrocardiograma, das pressões sistólicas e diastólicas, da percentagem de CO_2 no sangue, da respiração, do ritmo cardíaco, do

electroencefalograma e em regime invasivo a pressão arterial e o fluxo cardíaco por termodiluição. São os pequenos monitores compactos que monitorizam o ritmo cardíaco, e as pressões por métodos não invasivos e que mais recentemente começaram também a monitorizar o electrocardiograma. Em regime ambulatório encontramos o sistema Holter para monitorização do ECG.

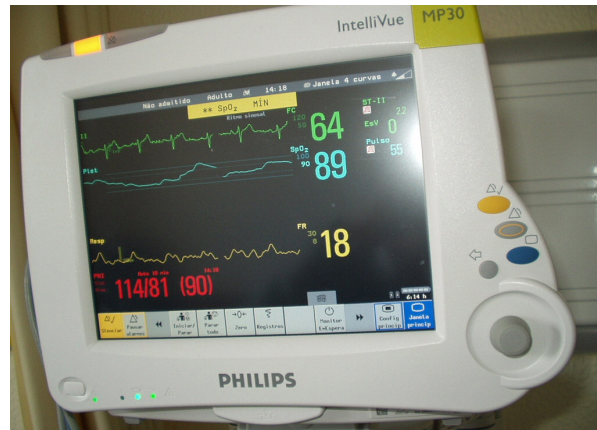



Figura 4- Monitor multiparâmetro

- **Equipamento de suporte de funções vitais** no qual se inclui todo o equipamento de apoio às funções respiratória, circulatória e neurológica. São os aparelhos de anestesia e ventilação, perfusão extra corporal, equipamentos de emergência tais como desfibrilhadores e ventiladores manuais, mesas de reanimação neonatal, pace maker externo, etc.

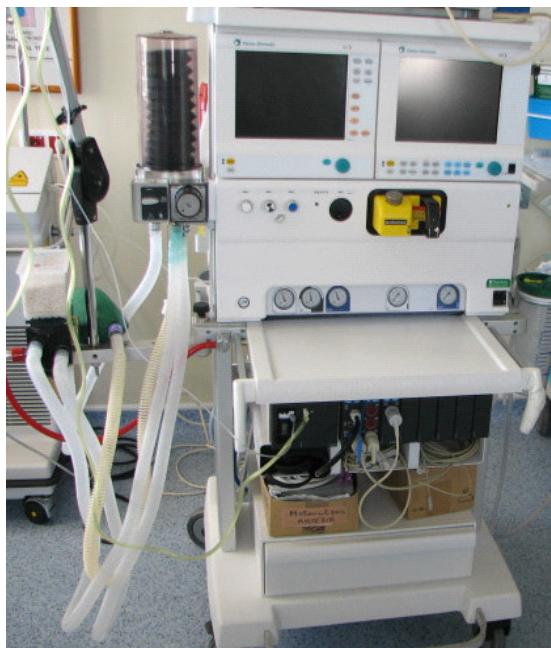



Figura 5- Aparelho de anestesia

Figura 6- Monitor desfibrilhador

- **Equipamento de diagnóstico** por medição de parâmetros físicos e eléctricos das funções respiratória, cardíaca e neurológica. Na área cardíaca os parâmetros medidos são eléctricos e correspondem ao electrocardiograma normal ou em esforço. Na neurológica são igualmente sinais eléctricos no electroencefalograma, no electromiograma e nos potenciais evocados.

Figura 7- Pletismógrafo

Da função respiratória são medidos parâmetros físicos tais como volume tidal, fluxo inspiratório e expiratório, resistência das linhas aéreas, em equipamentos que vão do simples espirómetro até ao sofisticado pletismógrafo, Figura 7.

- **Equipamento de diagnóstico por imagem** que abrange variadas tecnologias. É o equipamento convencional de radiologia que gera imagens resultantes da atenuação da radiação X pela matéria e impressionando película radiográfica, em desuso, impressionando iodeto de césio em tubo intensificador com recolha analógica da imagem por tubo vidicon, também em desuso, ou com recolha digital da imagem por sensor sólido ou ainda por impressão de ecrãs de fósforo para digitalização. È a tomografia axial computorizada (TAC) que baseando-se também na atenuação da radiação pela matéria mas impressionando anéis de cristais sólidos detectores de RX produz imagens construídas em computador. È a ressonância magnética nuclear que se baseia na magnetização dos tecidos. Este fenómeno baseia-se no *alinhamento* dos protões dos núcleos de hidrogénio (o corpo humano é maioritariamente constituído por água), por efeito de um campo magnético intenso. O alinhamento significa que o spin dos protões passa a rodar em torno do eixo do campo magnético e nestas condições cada núcleo vibra a uma frequência proporcional ao campo magnético em que se insere. Se lhe for aplicado um campo electromagnético com a mesma frequência o núcleo é *excitado* por transferência de energia durante a ressonância. Com este aumento de energia os núcleos ficam instáveis e ao retornarem ao estado inicial emitem a energia absorvida na mesma rádio frequência que originou a excitação. Com a *detecção desta rádio frequência* constrói-se a imagem. É a ecografia na qual a imagem é construída com ultrasons reflectidos pelos diversos componentes do corpo humano. Efectivamente o corpo humano é constituído por tecidos com impedâncias acústicas diferentes e por isso com índices de reflexão e refracção também diferentes. São as imagens tomográficas por emissão de

fotão único obtidas na medicina nuclear pela radiação gama emitida pelos doentes injectados com radioisótopos e recolhida pelas gama-câmaras. São ainda as imagens tomográficas por emissão de positrões (PET) a partir de radiofármacos produzidos num ciclotrão e de muito reduzida semi-vida. Tecnologia em grande expansão na área oncológica mas ainda em desenvolvimento conjugado com a TAC – designada por PET/CT.

Figura 8- Gama-câmara

- **Equipamento de radioterapia** utilizados no tratamento oncológico distinguindo-se dois tipos: a teleterapia e a braquiterapia. A teleterapia começou com a utilização de RX, passou ainda recentemente pelo Cobalto, sendo hoje largamente utilizados os aceleradores lineares. Estes aceleram electrões com energia que pode ultrapassar os 20 MeV os quais são vulgarmente utilizados directamente no tratamento em conjunto com fotões. A braquiterapia intracavitária ou intersticial baseia-se na aplicação da fonte de radiação, habitualmente o Césio-137 e o Irídio-192, directamente no tumor. Esta aplicação executa-se com um robô comandado à distância por um operador que deste modo fica protegido da radiação.
- **Equipamento de diagnóstico de patologia clínica e anatomia patológica**, utilizando diversas tecnologias de análise apresentam-se hoje em cadeias automáticas para química clínica, hematologia e imunologia com capacidade de realização de mais de 90% das determinações solicitadas a um laboratório. Fora da cadeia surgem algumas análises das áreas da citologia e cito química, biologia molecular, absorção atómica e cromatografia. A microbiologia surge menos automatizada, mas com cuidados de manipulação das amostras elevados face aos riscos de contaminação quer dos operadores quer mesmo de outras amostras.
- **Equipamento de terapia das áreas de medicina física e reabilitação** envolvendo tecnologias muito diversas tendo como objectivo a reeducação funcional e tratamento de distúrbios cinéticos em diversos órgãos e sistemas do corpo humano. São vulgares os aparelhos de electroterapia para aplicação de correntes de alta-frequência, os ultra-sons, as ondas curtas, o laser, os tratamentos com parafina e o calor húmido. Menos

vulgares, são os dinamómetros isocinéticos utilizados na medida e recuperação da performance muscular. A hidroterapia com equipamentos que vão desde a piscina terapêutica ou o tanque de marcha até às pequenas tinas, exige cuidados elevados com a segurança eléctrica dos doentes. Por fim referimos a utilização dos equipamentos de mecanoterapia e dos vulgares aparelhos de ginásio.

- **Equipamento de endoscopia nas áreas gástrica, respiratória e urológica** permite a realização de diagnóstico e execução de terapias nos aparelhos digestivo, respiratório e urológico. Da utilização de fibras ópticas resultou a substituição do equipamento rígido, traumatizante e de intervenção limitada, por equipamento flexível e de grande funcionalidade pela sua adaptação à anatomia humana. As modernas tecnologias de aquisição de imagem adaptadas aos endoscópios conferem a este equipamento elevada capacidade de diagnóstico. A conjugação destes equipamentos com as técnicas cirúrgicas de electrocirurgia e laser e o seu acompanhamento por imagens em tempo real conferem-lhe uma insubstituível capacidade terapêutica. As técnicas endoscópicas, sendo utilizadas pelos doentes internados, são fundamentalmente aplicadas em regime ambulatório nas respectivas unidades de técnicas. No caso da urologia importa salientar a utilização nas técnicas urológicas dos ultra sons de elevada potencia, o litotritor, para destruição de cálculos renais.

Figura 9 - Broncoscópio flexível

- **Equipamento de hemoterapia e imunohemoterapia,** aquele visando a substituição da função renal e este a reposição total do sangue ou de alguns dos seus componentes. Naquele incluímos os aparelhos de hemodiálise e o equipamento complementar de tratamento de água, cuja manutenção está hoje sujeita a procedimentos e resultados funcionais definidos na legislação portuguesa. Como equipamento de imunohemoterapia todo o equipamento de recolha e selagem de sacos, os aparelhos de separação de componentes, de plasmaforese, lavadores de células ate ao equipamento

de frio que vai desde os frigoríficos de conservação e congelação ate à crio congelação com azoto liquido.

- **Equipamento de lavagem, desinfecção e esterilização,** no fundamental concentrado na Central de Esterilização com excepção de equipamentos de lavagem e descontaminação que são habitualmente instalados nos locais de maior produção de material sujo ou de material especifico. É o caso dos equipamentos de endoscopia que são tratados por máquinas próprias concebidas exclusivamente para aquele equipamento, são também os acessórios de anestesia cuja lavagem e descontaminação se faz em máquinas gerais, mas com adaptações específicas e muitas vezes instaladas na Sub-Central de Esterilização localizada no Bloco Operatório. O equipamento de esterilização cujo princípio de funcionamento se mantém há décadas, com utilização

Figura 10 - Autoclaves a vapor saturado

do vapor saturado húmido a 135ºC, continua a ser utilizado para esterilizar com fiabilidade 95% do material, com excepção do termo sensível. Para este foi recentemente abandonado o óxido de etileno e foi adoptado o plasma a partir do peróxido de hidrogénio. Todo este equipamento é essencialmente electromecânico, gerido e monitorizado por computador, submetido a ritmos de trabalho intensos atingindo por vezes as 16 horas por dia. É uma área com habitual grande intervenção da engenharia hospitalar.

- **Equipamento de cirurgia,** no qual correntemente se inclui o equipamento de corte e coagulação, o equipamento de iluminação e todo o equipamento mecânico de transporte e de suporte do doente. No primeiro encontramos actualmente as

Figura 11- Sala de operações vendo-se em primeiro plano a mesa de cirurgia com tampo em pedestal. Notar o tecto filtrante com o suporte do candeeiro ao centro

tecnologias das correntes de alta-frequência e do laser e para a cirurgia de alguns órgãos a aspiração ultra sónica. A iluminação cirúrgica que durante anos não teve evolução relevante com excepção do desenho e da ergonomia dos respectivos estativos surge agora com a tecnologia "light emission diode (LED)". Quanto ao equipamento mecânico assistimos à substituição da tradicional mesa cirúrgica por pedestais fixos e tampos amovíveis, variados de acordo com a cirurgia a executar, conferindo assim quase total versatilidade na utilização das salas de operações.

- **Equipamentos de diagnóstico e terapia das áreas de Otorrino Laringologia e Oftalmologia** são aparelhos específicos que utilizam tecnologias variadas e que equipam a área ambulatória e cirúrgica. Em Otorrino para além da vídeo endoscopia são utilizados no diagnostico os audiómetros e as câmaras de audiometria, os impedanciómetros e microscópicos de diagnóstico e cirúrgicos. Na Oftalmologia são as lâmpadas de fenda na observação ocular, os tonómetros, os sinoptoforos, perímetros, refractómetros, ecografia, tabelas de optotipos, etc. Na terapia

oftalmológica estão vulgarizadas a criocirurgia, a vitrectomia e o laser na fotocoagulação.

- **Estomatologia** é uma área que surge com frequência como sub especialidade da cirurgia maxilo facial/cirurgia plástica. No entanto utiliza equipamento específico não partilhável com as restantes. O de maior visibilidade é a equipa de estomatologia, equipamento de natureza electromecânica, constituído pela cadeira, candeeiro, tabuleiro e acessórios diversos tais como brocas, pontas de aspiração, destartarizadores, etc. e ainda os compressores e máquinas de aspiração que frequentemente surgem como um monobloco de simples montagem. Associado à equipe dentária encontramos o pequeno aparelho de RX de fixação à parede.
- **Dermatologia,** especialidade médica com reduzida quantidade de equipamento salientando-se a fototerapia com utilização de câmaras de ultravioletas e infravermelhos e o tratamento de doenças tais como herpes, acne, psoriase, etc. com utilização de da tecnologia laser. Toda a actividade cirúrgica e de diagnostico utiliza os equipamentos e tecnologias já referidos atrás.
- **Farmácia** ocupa o segundo lugar da despesa hospitalar imediatamente a seguir à despesa com pessoal. Por esse motivo é inquestionável o investimento que permita a racionalização de consumos e a redução de custos. São três as áreas da farmácia onde são visíveis os equipamentos. Na área laboratorial para determinação dos níveis séricos e controle de qualidade. Na preparação de citotóxicos e de outras preparações assépticas são utilizadas câmaras de fluxo de ar laminar adaptadas a cada situação. No armazenamento e distribuição tem recentemente surgido equipamentos robotizados que preparam a medicação de cada doente a partir do armazém central de medicamentos.
- **Mobiliário hospitalar** apresenta uma panóplia de equipamentos que vão desde o simples catre de observação do doente ate à cama de comando eléctrico e pneumático, cuja complexidade e sofisticação quando se destinam a cuidados intensivos, a unidades de traumatologia e a queimados, crescem de tal modo que a classificação de mobiliário parece desajustada. É usual classificar de mobiliário hospitalar todos os artigos de mobiliário que têm utilização directa pelo doente ou pelo pessoal médico e de enfermagem no tratamento do doente.
- **Equipamento informático** tratado em conjunto com o software constitui uma área específica com meios próprios e direcção própria, habitualmente engenheiros

informáticos, independente dos tradicionais serviços de engenharia do hospital. As redes são uma instalação de actuação conjunta na medida em que do ponto de vista funcional devem responder as necessidades definidas pelo Serviço de Informática mas, constituem uma infraestrutura que se desenvolve no edifício e por isso executada no âmbito de obras geridas pelo Serviço de Engenharia.

2.2 – A gestão da manutenção hospitalar

Na literatura especializada surgem vários modelos de manutenção cuja descrição não cabe neste trabalho com excepção de dois deles que deveriam estar presentes na gestão global da manutenção hospitalar. A descrição elaborada no número anterior mostra a enorme diversidade de tecnologias quer ao nível das instalações quer dos equipamentos existentes num hospital. Mostra igualmente o seu nível de participação na prestação de cuidados de saúde. Desta diversidade surge por um lado a necessidade de encontrar um modelo racional de organização na utilização de recursos e por outro a visão do processo completo de prestação de cuidados em cada área e não apenas de cada equipamento individualmente. Deste modo e neste âmbito foram identificados os modelos a seguir descritos.

2.2.1 – Modelo EUT (Eindhoven University of Technology) de manutenção

Este modelo surge na Universidade de Eindhoven criado por W.M.J. Geraerds por razões académicas e como um instrumento de gestão da manutenção. O modelo tem por base um conjunto de pressupostos, nomeadamente a universalidade dos sistemas duma organização sujeitos a manutenção, a diversidade da organização que não pode excluir os fabricantes de equipamento OEM (Original Equipment Manufacturer) e a existência de feedback no “desenho” dos sistemas.

O modelo tem uma estrutura que engloba 14 sub funções das quais se destacam:

- Os objectos sob manutenção (sistema técnico);
- A capacidade interna;
- A capacidade externa oferecida pelo mercado;
- A capacidade externa oferecida pelos fabricantes;
- O planeamento e controlo da manutenção;
- O controlo do inventario das peças de manutenção não reparáveis (consumíveis);
- O planeamento e controlo da manutenção de rotáveis;
- Avaliação de resultados;
- O feedback terotecnológico;

- A metodologia de projecto de um sistema técnico;
- A especificação das características de um sistema técnico;
- O projecto de um sistema técnico;
- O fabrico de um sistema técnico;
- O desenho do conceito de manutenção para um sistema técnico.

Este modelo, com uma visão global da "empresa", dos prestadores de serviços de manutenção e dos fabricantes bem como das suas relações, nomeadamente a circulação da informação, apresenta a manutenção como uma função de engenharia optimizada pela avaliação de resultados e pelo feedback terotecnológico. É uma metodologia cujas 14 sub funções descritas aplicadas à manutenção hospitalar traduzir-se-ão em ganhos de eficiência.

No entanto há que ter em conta que "o plano de manutenção deve ser uma sub função interna em vez de externa e sujeita a evolução. Isto porque a experiência sugere que o mesmo equipamento pode necessitar de diferentes regimes de manutenção em diferentes circunstâncias o que os prestadores externos, tais como fabricantes (OEMs), podem não ter conhecimento ou competência para avaliar o seu significado" (Sherwin 2000).

O EUT é um modelo que assenta numa visão global dos equipamentos e das instalações a manter e da avaliação de resultados tendo em vista a utilização racional da globalidade dos recursos disponíveis.

2.2.2 – Modelo TQMain de manutenção (Total Quality Maintenance)

Foi desenvolvido pelo Prof. Basim Al-Najjar, actualmente na Universidade de Växjö, em 1996 na sua dissertação de doutoramento e orientado por David Sherwin na Lund University, na Suécia, justificando a sua aplicação a situações onde a ocorrência de uma falha tenha consequências graves. A avaliação da gravidade poderá ser de natureza económica, ambiental ou de segurança.

A manutenção e a produção estão integrados, sendo as paragens para manutenção preventivas agendadas de acordo com a produção. Também a produção deve incluir tempos de Manutenção Preventiva (MP) para garantia de qualidade e tempo de paragem baixo.

O modelo pressupõe a detecção precoce de falhas através de um conceito de manutenção baseado no controlo de condição levando tão longe quanto possível a vida das peças que sofrem desgaste, aumentando a disponibilidade, a qualidade e reduzindo perdas de

produção. Como os custos de monitorização têm vindo a diminuir relativamente aos custos de manutenção pelo que a viabilidade do controlo de condição tem crescido. Deste modo espera-se que a eliminação das causas de falha antes de ocorrerem desvios de qualidade e o controlo de condição do equipamento, concorram para a obtenção de melhorias permanentes na vida dos equipamentos, na qualidade dos produtos ou dos serviços e dos custos.

Constata-se que este modelo visa, conforme o próprio nome indica, não apenas o equipamento, mas a globalidade do processo produtivo. Reside aqui a diferença para com o TPM (Total Productive Maintenance).

O sucesso do TQMain é avaliado pelo indicador OPE (Overall Process Effectiveness) que permite o cálculo da eficiência de todo o processo. Nestas condições podemos encontrar máquinas iguais com desempenhos diferentes, pois o que está em avaliação é todo o sistema produtivo e os seus resultados.

Por exemplo, num bloco operatório ou mais especificamente numa sala de operações, da qual se espera uma produção de 1250 cirurgias por ano, cuja complexidade é notável (conceito tratado no próximo capitulo), do ponto de vista da engenharia envolve uma panóplia elevada de recursos que vão desde a mesa operatória, o candeeiro cirúrgico, o bisturi eléctrico, o aparelho de anestesia, o equipamento de monitorização, os gases medicinais, todo o sistema de alimentação e segurança eléctrica, o sistema de despoluição de gases anestésicos e ainda o sistema de tratamento de ar. A operacionalidade da sala de operações passa pela existência de recursos humanos, de métodos, de saberes e por uma organização que é necessário manter e garantir a sua qualidade total. A falha de um elemento físico da cadeia de produção põe em risco o funcionamento da sala. A falha ou degradação de qualquer dos factores de manutenção põe em risco a eficiência e eficácia da manutenção. A utilização de métodos baseados na monitorização da condição é indispensável e são actualmente utilizados nomeadamente no tratamento do ar e na rede eléctrica. São obtidos ganhos a diversos níveis:

- Na manutenção propriamente dita a nível económico e na qualidade, onde uma substituição de filtros de ar, só em material, tem um custo da ordem dos 2500€. Num passado recente eram objecto de manutenção preventiva sistemática com a periodicidade habitual de um ano. Actualmente com ventiladores de velocidade variável para compensação das perdas de carga e manutenção condicionada, a duração dos filtros de alta eficiência aumentou para o dobro. Agora com garantia absoluta de qualidade do ar já que há a certeza do caudal insuflado;

- Ganhos económicos na produção dos serviços esperados cujo valor é relevante para o financiamento do Hospital;
- Ganhos sociais pela resposta a problemas de saúde que significam quase sempre melhor qualidade de vida e, muitas vezes, a própria vida.

A qualidade total na manutenção é um conceito que pelas razões expostas faz sentido ser aplicado a equipamentos e a instalações de maior complexidade e de maior peso na produção de cuidados de saúde.

2.3 – Conclusões do capitulo

Neste Capitulo, "Estratégias de manutenção hospitalar", apresentou-se uma descrição geral e sucinta das instalações e dos equipamentos hospitalares com o objectivo de enquadrar as necessidades de manutenção e compreender os modelos que melhor respondem aquelas necessidades.

Dos modelos descritos na literatura da especialidade foram seleccionados dois que pelas suas características se ajustam à manutenção hospitalar: o modelo EUT encarado como uma estratégia de organização e gestão da manutenção e o modelo TQMain como forma de abordagem da manutenção das áreas onde a visão do equipamento é insuficiente para o sucesso do processo de prestação de cuidados de saúde.

Estes modelos deixam em aberto a manutenção específica de equipamentos operando nas mais diversas condições e sob variadas exigências de fiabilidade, o que será tratado no capítulo seguinte.

Capítulo 3 – Estratégia de manutenção do equipamento médico

No capítulo anterior foram referidos conceitos de âmbito global da manutenção hospitalar. Importa agora desenvolver uma ferramenta concreta para aplicação à manutenção do equipamento médico e que tenha em conta o risco duma falha associado a cada acto clínico, as exigências de segurança dos técnicos de saúde e consequentemente um nível de fiabilidade adequado. A Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM), ao analisar as consequências das falhas satisfaz as condicionantes referidas.

3.1 - O risco clínico – cultura de segurança

Risco clínico é definido como a probabilidade de ocorrência de um evento adverso em consequência de um tratamento, mas não da doença que lhe deu origem, causando qualquer tipo de dano (Fragata, 2006). As consequências do evento adverso permitem classifica-lo como acidente ou incidente. No primeiro caso, acidente, o resultado final fica comprometido enquanto que no segundo, incidente, as perturbações resultantes não terão consequência nos resultados. Para compreensão do risco é indispensável associar a caracterização dos prestadores com a caracterização dos actos clínicos e com os resultados através da expressão (1) (Fragata, 2006).

$$RESULTADOS = \frac{Performance}{Complexidade} \qquad (1)$$

A *performance* que tanto pode caracterizar o desempenho de um indivíduo, de uma equipa ou de um hospital, depende da complexidade das situações a resolver e caracteriza-se estatisticamente. Sendo a *complexidade* uma constante de cada acto médico, a performance uma variável associada a cada executor na avaliação dos *resultados,* os parâmetros de mortalidade e morbilidade não podem deixar de ser considerados. A mortalidade cujos índices se têm reduzido para valores cada vez mais baixos tem cada vez menos ênfase. Pelo contrário na morbilidade os números são mais significativos e, para além das consequências maiores ou menores sobre o doente consoante se trate de um acidente ou incidente, a morbilidade gera custos significativos para o sistema de saúde.

Cada acto caracteriza-se por uma complexidade que quanto maior for maior será o risco associado. A título de exemplo, a complexidade de um acto cirúrgico é determinada por um conjunto de factores como as características do próprio acto cirúrgico e outros

exigíveis à execução do acto tais como a qualidade do tratamento de ar da sala, a segurança eléctrica da sala e a segurança dos equipamentos utilizados (ventilador de anestesia, bisturi elétrico, monitores de sinais vitais, etc.).

Comparando com a complexidade, por exemplo, da realização de um electrocardiograma, que é uma técnica de fácil execução com utilização de apenas um equipamento não invasivo, o electrocardiógrafo, e não necessitando de instalações especiais, este acto tem uma complexidade muito inferior à complexidade dum acto cirúrgico.

Assim, à complexidade encontra-se associado um risco que é tanto maior quanto maior forem os factores de risco, neste caso também os equipamentos e as instalações.

O papel da manutenção é reduzir este risco, reduzir a complexidade dos actos e mediante performances que se esperam elevadas obter os melhores resultados.

A existência de riscos gera nos profissionais de saúde uma atitude de defesa relativamente àqueles, podendo afirmar-se que existe uma *cultura de segurança*. Importa analizar as suas consequências na manutenção tendo em conta um conjunto de pressupostos inerentes à organização e que a caracterizam nos dias de hoje (Fragata, Martins, 2005):

- O *relato de erros e incidentes* que interferem na prestação de cuidados é uma atitude enraizada nos serviços de saúde;
- Uma *cultura de justiça* não só diferenciadora de comportamentos de profissionais mas também e acima de tudo de assunção dos direitos dos utentes dos serviços quando está em causa a vida e a qualidade de vida;
- A *cultura de flexibilidade* resultante por um lado duma organização com reduzida hierarquia ao nível da actividade clínica e por outro lado resultante do perfil profissional caracterizado por elevados níveis de formação e competência;
- A *cultura de aprendizagem* indispensável ao desempenho profissional e promovida pela existência de carreiras com elevada exigência nesta matéria.

Estes são factores que condicionam positivamente a cultura de segurança vigente.

A segurança utiliza recursos e tem custos que nem sempre são considerados surgindo a cultura negativa da *segurança por qualquer preço* e para qualquer acto. Como parece óbvio é indispensável encontrar uma solução equilibrada e racional com utilização eficiente de recursos sem perder de vista a qualidade dos resultados.

A estratégia adoptada para a manutenção tem neste contexto um papel decisivo.

3.2 - Conceito de falha

O conceito de *falha* aplica-se à função requerida a um equipamento, a um órgão ou a um componente e significa que pelo menos um parâmetro de funcionamento entrou em degradação e atingiu um nível insatisfatório (Assis, 2004).
Uma falha pode também ser definida como um desvio identificável e insatisfatório da condição original (Mather, 2005).
Importa definir *avaria* para clarificar a diferença de conceitos. Esta surge como um caso particular da falha sendo a alteração ou cessação da possibilidade de um bem ou equipamento realizar uma função pré-determinada (Ferreira, 1998). Na avaria é habitual a função capacidade reduzir-se a zero por paragem do equipamento enquanto que na falha de outras funções o equipamento poderá manter-se em funcionamento apesar de terem sido ultrapassados os limites especificados para a função em falha. Neste caso estamos perante uma *falha funcional* que deve ser objecto de reparação antes de atingir o estado de avaria. Teoricamente todas as falhas poderiam ser previamente classificadas como *falhas potenciais* utilizando meios adequados de monitorização ou os MTBF indicados pelos fabricantes. Na realidade o reconhecimento de falhas potenciais tem custos pelo que a sua identificação só tem lugar por razões económicas ou outras com elevada exigência de fiabilidade.
Nos Hospitais e em particular nas áreas onde a actividade clínica apresenta uma complexidade elevada, com grande peso das instalações e dos equipamentos, é necessária uma estratégia de manutenção que garanta elevada fiabilidade. No entanto, havendo uma probabilidade, mesmo que remota, de ocorrer uma falha de um equipamento, para o sucesso do acto clínico e eventualmente para a vida do doente, é indispensável a conclusão do acto. Assim, e como exemplo, o modo de falha de perda de isolamento eléctrico de um equipamento eléctrico de bloco operatório não pode impedir o cirurgião de continuar a sua actividade Noutra situação e noutro ambiente, deste modo de falha resultaria o disparo da protecção eléctrica e a paragem do equipamento. No caso do bloco operatório ou de outra instalação similar a alimentação eléctrica é do tipo neutro flutuante com transformador de isolamento e corrente de fuga da ordem de apenas alguns micro amperes pelo que, apesar da falha, o equipamento manter-se-á em utilização. Nesta situação, porque a continuidade de funcionamento é decisiva, foram criadas condições para que a avaria tenha as consequências de uma falha, isto é, o equipamento permaneça em funcionamento apesar de

terem sido ultrapassados os limites especificados para a função em falha, no caso o isolamento eléctrico.

Em conclusão, no actual contexto económico, social e tecnológico a procura de estratégias de manutenção adequadas passa por um conceito de falha abrangente e integrando a falha potencial e a falha funcional, esta desde o mínimo desvio identificável do estado de condição original até ao estado de avaria.

3.3 – A estratégia RCM na manutenção do equipamento médico

Apesar da manutenção hospitalar em Portugal ter acompanhado significativamente o desenvolvimento dos serviços públicos de saúde muito existe ainda por fazer.

Na década de 60 a rede hospitalar era no fundamental constituída pelos Hospitais Civis de Lisboa, pelo Hospital de Santa Maria, pelo Hospital de S. João e pelos Hospitais da Universidade de Coimbra. Para além destes existia uma rede de hospitais das Misericórdias cujo funcionamento assentava numa relação de caridade e benemerência com a população. Os primeiros, quer pela sua dimensão quer pela sua vertente universitária, dispunham dos recursos conhecidos na época. Os segundos, dum modo geral de pequena dimensão e sem recursos financeiros garantidos, eram para a época tecnologicamente muito limitados.

A manutenção era exclusivamente curativa e com dimensão visível para as instalações nomeadamente nas áreas da electricidade e da mecânica. Para os equipamentos médicos a estratégia era semelhante, mas ainda condicionada pela falta de mão-de-obra qualificada. Num contexto de ausência de oferta do mercado, o Ministério do Interior criou em 1966 o Serviço de Utilização Comum dos Hospitais com vista a prestar manutenção ao equipamento hospitalar.

Após a revolução de Abril de 1974 e com a criação do Serviço Nacional de Saúde, a rede hospitalar pública cresce acima das 2 camas por mil habitantes, modernizam-se as instalações e actualizam-se tecnologicamente os equipamentos. Neste contexto nascem os Serviços de Instalações e Equipamentos, os quadros técnicos passam de menos de uma dezena para uma centena e a manutenção passa a ter alguma relevância. Dão-se os primeiros passos na manutenção preventiva e, face aos recursos envolvidos e aos níveis de serviço exigidos, apesar do sistemático atraso português relativamente ao conhecimento internacional na matéria, a estratégia e as metodologias adoptadas assumiram alguma visibilidade e passaram a preocupar alguns gestores.

Entretanto, internacionalmente, com a evolução tecnológica, com os vultuosos investimentos em meios de produção, com a necessidade de elevada fiabilidade em muitos equipamentos como garantia de sucesso do “negócio”, surgiram na segunda metade do século passado diversos conceitos de manutenção em oposição à tradicional reparação de avarias.

É o que acontece com o desenvolvimento da indústria aeronáutica nos EUA que gerou a necessidade de novas metodologias de manutenção adequadas a um nível de fiabilidade correspondente ao risco respectivo. Surge o RCM (Reliability Centered Maintenance) que segundo alguns autores (Assis, 2004) tem origem na United Airlines, em 1978, com um relatório de Stanley Nowlan e Howard Heap intitulado “Reliability Centered Maintenance”. Segundo outros (Silva, Resende, Ferreira, 2002) surge na década de 60 “com vista à obtenção da licença de voo pela FAA - Federal Aviation Administration para o Boeing 747”. Esta metodologia é aplicada a equipamentos militares e expande-se a instalações industriais civis sendo agora descrita em normas tais como a MIL-STD-2173 e a SAE JA1011.

A norma militar define RCM como ”uma metodologia utilizada para identificar as tarefas de manutenção preventiva a realizar para atingir a fiabilidade inerente ao equipamento com uma utilização mínima de recursos”.

O RCM baseia-se na resposta a sete questões:

- Quais as funções requeridas ao equipamento e seus níveis de desempenho no seu contexto operacional?
- De que forma pode o sistema falhar no desempenho daquelas funções, isto é, quais os modos de falha que as podem afectar?
- Qual a causa ou causas de cada falha?
- Quais as consequências para o equipamento da ocorrência de cada falha?
- Que importância tem cada falha no processo produtivo, no ambiente, na segurança, etc., isto é, qual a sua criticidade?
- O que pode ser feito para evitar cada falha?
- O que deve ser feito se não for possível realizar a manutenção preventiva adequada?

As quatro primeiras questões serão respondidas por uma FMEA (Failure Mode and Effects Analysis).

A definição da política de manutenção do equipamento médico não pode ignorar o inerente risco clínico e os aspectos positivos da cultura de segurança existente, conforme descrito atrás, pelo que a análise das consequências das falhas é indispensável.

A resposta ás restantes perguntas do RCM passa exactamente por uma análise de consequências de cada modo de falha. Para isso é necessário ter em consideração a criticidade da falha. Esta pode ser analisada de modo quantitativo ou de modo qualitativo conforme os dados disponíveis. A norma MIL-STD-1629A apresenta ambas as hipóteses enquanto que a metodologia RPN (Risk Priority Number), apresentada no Capitulo 5, apenas permite uma avaliação qualitativa.

Dentro do diagrama de decisão RCM as consequências de falha podem ser agrupadas nas quatro categorias seguintes:

- Consequências de segurança
- Consequências ambientais
- Consequências operacionais
- Só consequências económicas

Deste modo só uma FMECA (Failure Mode Effects and Crticality Analysis) responde a todas as questões do RCM.

È importante salientar que o RCM não se centra na gestão da falha, mas sim na gestão das consequências da falha, razão determinante da sua aplicação à manutenção de equipamento médico e do seu enquadramento em conceitos globais de manutenção.

3.4 – Custo do ciclo de vida

A pressão da redução/contenção de custos na prestação de cuidados de saúde tem hoje um peso elevado também na manutenção sendo indispensável a sua racionalização com a relação fiabilidade/custo adequada a cada ambiente de desempenho.

Neste contexto o custo do ciclo de vida (Life Cycle Cost – LCC) assume uma importância decisiva na gestão do imobilizado, em particular do equipamento médico.

Sendo o custo do ciclo de vida de um sistema o somatório dos custos desde a fase de concepção até ao seu desmantelamento é sobre ele que cada vez mais frequentemente são tomadas decisões.

Para o utilizador de um equipamento médico os custos de investigação e desenvolvimento, projecto, fabrico, licenças e colocação em serviço, concentram-se no custo de aquisição. A este adiciona-se o custo de instalação que depende das suas funcionalidades e das tecnologias utilizadas e que determinam as infra-estruturas necessárias ao seu

funcionamento. No custo do ciclo de vida entram os custos de operação e manutenção e não podem deixar de ser considerados os custos de eventuais erros clínicos gerados por mau desempenho do equipamento. Não sendo o caso do equipamento estudado, os consumíveis necessários à operação de muitos equipamentos de saúde têm um custo tão relevante que determinam a sua escolha e chegam mesmo a ser, para o utilizador, o único custo do ciclo de vida do sistema, sendo os custos de aquisição e de manutenção diluídos no preço dos consumíveis durante um período negociado.

Neste "negócio", com transferência total de responsabilidade da operação do equipamento para o fornecedor, o Hospital não deve demitir-se do controlo da sua manutenção com o objectivo de utilizar a totalidade da sua vida útil e impôr condições mais vantajosas ao "negócio".

3.5 – Selecção do equipamento estudado

No Capitulo 2 apresentam-se uma panóplia de instalações e de equipamentos hospitalares que poderiam ser objecto de estudo. De entre aqueles a escolha do equipamento a analisar não foi aleatória. Antes pelo contrário, foi determinada por critérios que se enumeram a seguir:

- Importância do equipamento no processo produtivo global de cuidados;
- Nível de utilização de acordo com o "benchmarking" aplicável;
- Relevância tecnológica do equipamento;
- Peso nos custos globais de manutenção;
- Suficiência de informação disponível.

A Ressonância Magnética Nuclear instalada no Serviço de Imagiologia do Hospital de Santa Maria integra-se no conjunto de equipamentos de diagnóstico por imagem com uma produção anual da ordem dos 4500 exames, o que, em comparação com outros equipamentos semelhantes, se traduz por um excelente nível de utilização.

Na imagiologia actual os raios X e os ultra-sons são os meios mais comuns para obtenção de imagens médicas. O campo magnético deu os primeiros passos no diagnóstico por imagem há 25 anos sendo por isso a ressonância magnética ainda classificada como *nova tecnologia* [1]. Por outro lado os custos de manutenção são importantes na medida em que

[1] World Health Organization – Workshop on the Organization of a Health Technology Assessment Network in the European Region – The Hague, 30 May-1 June 1983: "A technology can be called modern as long as the absorption process has not been completed by the healthcare professionals in their daily use".

um único equipamento consome cerca de 3% do orçamento de manutenção do equipamento médico do Hospital.

No que se refere à informação disponível, o Serviço de Instalações e Equipamentos não possui recursos informáticos que permitam um acesso rápido e organizado à informação sobre a manutenção de todas as instalações e equipamentos. A informação existente, em papel, visa apenas o controlo das subcontratações. Para o equipamento seleccionado a empresa Philips dispunha da informação necessária.

Importa referir que no Hospital de Santa Maria foi agora iniciada a instalação de uma aplicação para gestão da manutenção.

3.6 – Conclusões do capitulo

O presente capítulo foi iniciado com uma breve dissertação sobre risco clínico, isto é, risco associado ao tratamento com realce para o papel da manutenção na redução do risco. Para o efeito foi indispensável definir o conceito de falha que em saúde, por razões de segurança, deve ser tão abrangente quanto possível. Foi eleita a estratégia RCM, aliada à análise FMECA, para estudo da manutenção da Ressonância Magnética porque esta metodologia, ao centrar-se nas consequências da falha, constitui uma ferramenta que permite uma gestão antecipada do risco. No entanto, ao desenvolvimento tecnológico estão associados custos com um peso importante no custo final dos cuidados de saúde, pelo que cabe à Manutenção um papel importante na optimização do ciclo de vida dos equipamentos.

Capítulo 4 – A Ressonância Magnética Nuclear

4.1 - Princípios físicos

4.1.1 - Propriedades nucleares

O átomo é constituído por um núcleo com carga eléctrica positiva e por orbitais com electrões de carga eléctrica igual e de sinal contrário à carga do núcleo. As imagens de ressonância magnética nuclear, como o próprio nome indica, baseiam-se nas propriedades do núcleo dos átomos, os protões, nomeadamente no seu *numero quântico de spin,* no *numero quântico magnético* e no seu comportamento quando submetidos a um campo magnético.

A compreensão deste fenómeno passa pela mecânica quântica. Nesta, assentando no modelo atómico de Bohr com a solução matemática de Schrödinger, os números quânticos surgem naturalmente caracterizando as partículas e os seus movimentos.

O protão possui um momento angular definido pelo respectivo número quântico de momento angular l, associado à sua energia cinética. De acordo com a teoria electromagnética, qualquer carga eléctrica em rotação gera um campo magnético e comporta-se como um pequeno imã (Figura 12). Por isso o protão tem um momento magnético que é quantificado pelo número quântico magnético ml.

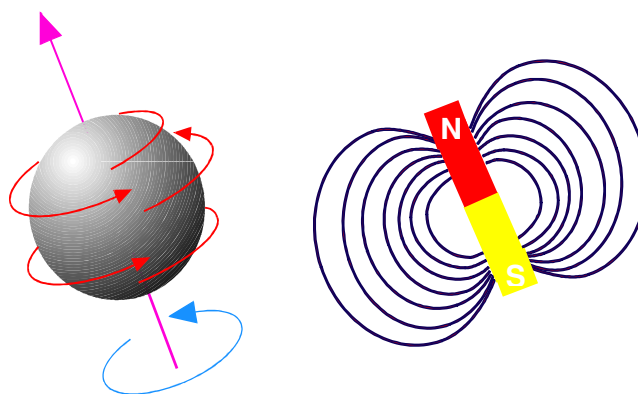



Figura 12- Movimento angular do protão gera momento magnético

O pequeno imã em rotação tem um momento angular de spin e, podendo o movimento de rotação ter dois sentidos, o sentido dos ponteiros do relógio e o contrário, o número quântico de spin ms, pode ter dois valores: -½ e +½.

Mas apenas alguns átomos são utilizados na RMN. Para compreensão deste fenómeno é necessário recordar a sua estrutura atómica.

Os átomos possuem camadas electrónicas ou níveis de energia que são formados por sub camadas ou sub níveis de energia nos quais os electrões se situam em orbitais. Mais rigorosamente as orbitais são a localização mais provável dos electrões, num número máximo de dois. A cada orbital é atribuído um numero quântico magnético cujo valor varia de –ml a +ml. De acordo com o principio de exclusão de Pauli, os dois electrões da mesma orbital tem spins opostos e, portanto, momento magnético zero. A menos que exista uma orbital com um único electrão desemparelhado e neste caso com um determinado valor de momento magnético.

Conclui-se que os átomos com um número atómico par não possuem momento magnético. São exemplos de elementos biologicamente abundantes e com numero atómico impar o ${}^{1}_{1}H$, ${}^{9}_{19}F$, ${}^{15}_{31}P$ e o ${}^{11}_{23}Na$. O hidrogénio é o elemento mais abundante no corpo humano e possui o núcleo com o maior momento magnético pelo que dele se obtém o mais forte sinal em ressonância magnética.

Tabela 1 - Características dos núcleos atómicos

Nucleo	Concentração (mol/l)	Sensibilidade relativa	Protões/neutões desemparelhados	Numero quantico de spin (ms)	Frequencia de ressonancia MHz		
					0,5 T	1 T	1,5T
${}^{1}H$	99,0000	1,000	1	± 1/2	21,3	42,6	63,80
${}^{19}F$	0,0066	0,830	1	± 1/2	20,0	40,1	60,20
${}^{31}P$	0,3500	0,066	1	± 1/2	8,6	17,2	25,70
${}^{23}Na$	0,0780	-	1	± 3/2	5,7	11,3	17,10

As características constantes da Tabela 1 e resultados experimentais conduziram à utilização do ${}^{1}H$ para obtenção de imagens de RMN continuando a ser investigada a utilização de outros núcleos dos quais apenas o fósforo revelou ter aplicações relevantes.

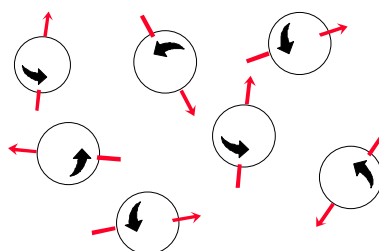



Figura 13 - Núcleos de hidrogénio na ausência de campo magnético

Na ausência de campo magnético os núcleos ^1H encontram-se aleatoriamente orientados no espaço (Figura 13).

Quando são colocados num forte e homogéneo campo magnético B_0, comportam-se como minúsculas agulhas de bússola alinhando-se com a direcção do campo (Figura14) e assumindo um dos sentidos do número quântico de spin.

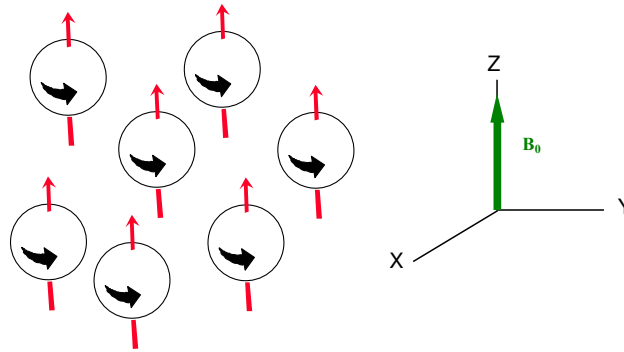



Figura 14 - Núcleos de hidrogénio sujeitos a um campo magnético

Porque a orientação do campo não é perfeita e apresenta-se com pequenas oscilações os vectores de spin dos núcleos descrevem um movimento de precessão em torno do vector B_0 cuja frequência é designada frequência de Larmor e é dada por

$$\omega_L = \gamma B_0 \qquad (2)$$

B_0 - campo magnético expresso em Gauss ou Tesla (1 Tesla = 10K Gauss)

γ - é a relação giromagnética do protão que é uma constante de cada núcleo, cujo valor para o hidrogénio é de 42,57 MHz/T

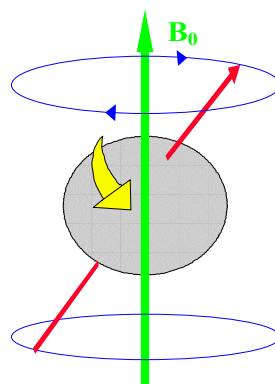



Figura 15- Movimento de precessão de um núcleo de hidrogénio sujeito a um campo magnético

Para o hidrogénio a frequência de Larmor é proporcional ao valor do campo magnético que, para os equipamentos comercializados, varia entre 0,5 T e 3 T.

Constata-se então que os núcleos de hidrogénio vibram a frequências que variam de 21,28 MHz a 127,71 MHz quando submetidos aos campos magnéticos dos equipamentos comercializados.

Estes valores situam-se no espectro da radiação não ionizante na faixa das radiofrequências, abaixo dos 3×10^9 Hz.

4.1.2 – O fenómeno da ressonância e da excitação dos núcleos

Cada objecto que pode vibrar fá-lo-á com maior amplitude sob a influência de uma força aplicada à mesma frequência que a frequência de ressonância natural do objecto.

È exemplo deste fenómeno a vibração de um diapasão por influência de outro igual que na sua proximidade foi posto a vibrar, por transferência de energia do primeiro para o segundo.

Um efeito de ressonância semelhante ocorre quando um núcleo atómico é sujeito a um campo electromagnético cuja frequência é igual à frequência de precessão. O campo electromagnético B_1, gerado com o sinal de radiofrequência à frequência de Larmor, é perpendicular à direcção do campo magnético B_0 e os núcleos são inclinados a partir da direcção de equilíbrio deste até ao plano XY.

A duração e a amplitude do campo B_1 podem ser tais que o núcleo se inclina para qualquer ângulo, por exemplo 90º ou 180º, a partir da direcção de equilíbrio B_0 (Figura 16).

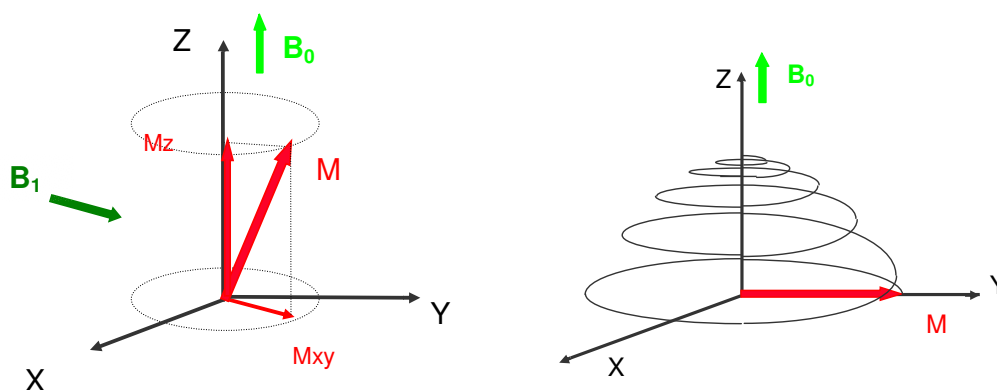



Figura 16- Excitação de um núcleo com o vector magnetização M a descrever um movimento de precessão desde a posição de equilíbrio até á posição perpendicular aquela

Durante este deslocamento de M o núcleo absorveu energia e fica excitado.

4.1.3 – Processo de relaxação

Assim que a RF cessa, o núcleo reorientar-se-á na direcção do campo homogéneo B_0, processo este que se designa por relaxação. Durante este movimento parte da energia absorvida é radiada na forma de um fraco campo electromagnético que pode ser detectado

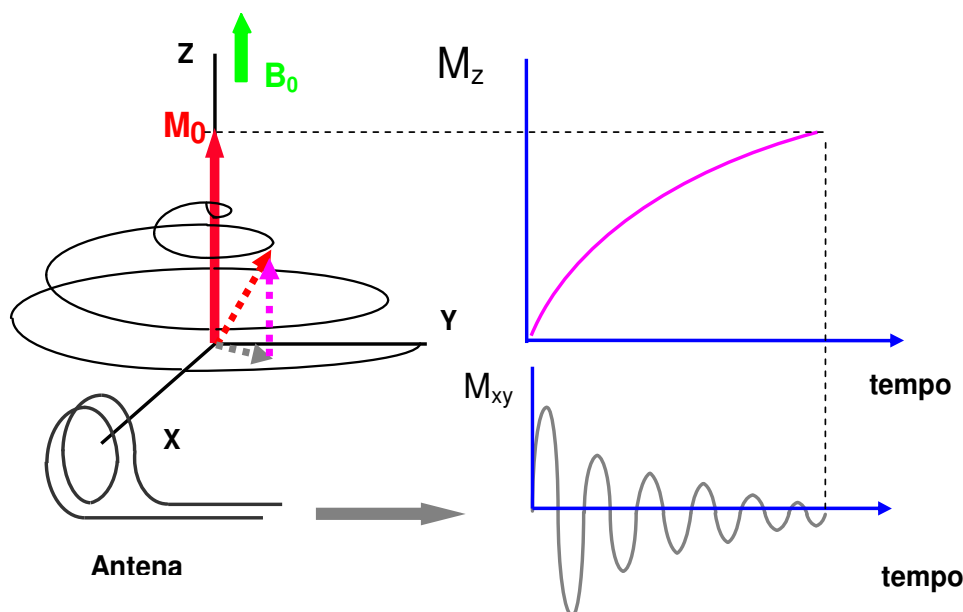



Figura 17- Relaxação transversal e longitudinal

por uma antena (Figura 17).

Durante o processo de relaxação o vector momento magnético tem duas componentes, uma segundo o plano XY e outra segundo o eixo dos Z.

Durante este processo as duas componentes do momento magnético regressam aos seus valores iniciais, isto é, a componente no plano XY, designada por *transversal,* que atingiu o seu valor máximo passa a zero e a componente segundo o eixo dos Z, designada por *longitudinal*, que estava a zero passa ao seu valor máximo, conforme se pode ver na Figura 17.

No processo de relaxação transversal, também designado por *relaxação spin-spin*, a energia absorvida pelos núcleos é permutada entre os próprios núcleos e enquanto um núcleo absorve energia outro núcleo vizinho liberta-a e ocorre um decaimento exponencial do vector momento magnético segundo o plano XY.

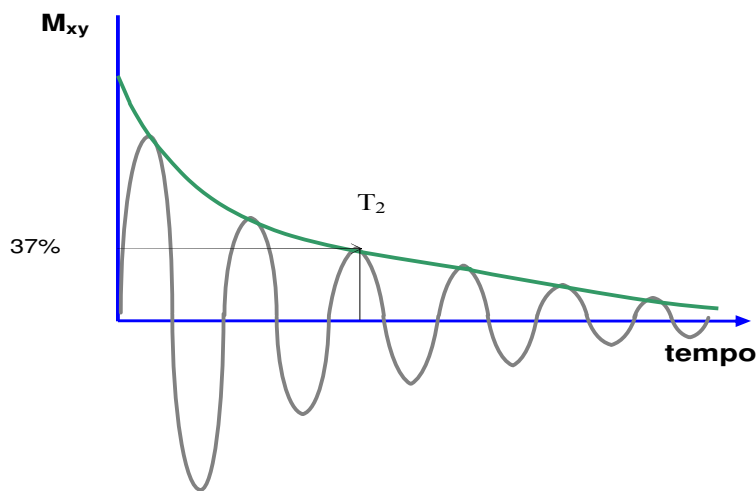



Figura18 - Relaxação transversa1

O valor do módulo do momento magnético é dado pela expressão

$$M_{xy} = M_0 e^{-t/T_2} \qquad (3)$$

na qual T_2 é a constante de tempo de relaxação spin-spin e corresponde ao tempo que demora a perder-se 63% do sinal original, Figura 18.

No processo de relaxação longitudinal também designado por *relaxação spin-rede*, a energia absorvida é trocada entre os núcleos excitados e a rede molecular envolvente. Desta forma dá-se a recuperação da magnetização longitudinal segundo o eixo dos Z num processo exponencial segundo a expressão

$$M_z = M_0 \left(1 - e^{-t/T_1}\right) \qquad (4)$$

na qual T_1 é a constante de tempo de relaxação spin-rede e corresponde ao tempo que o vector magnetização longitudinal demora a recuperar 63% ($1-e^{-1}$) do sinal original, Figura19.

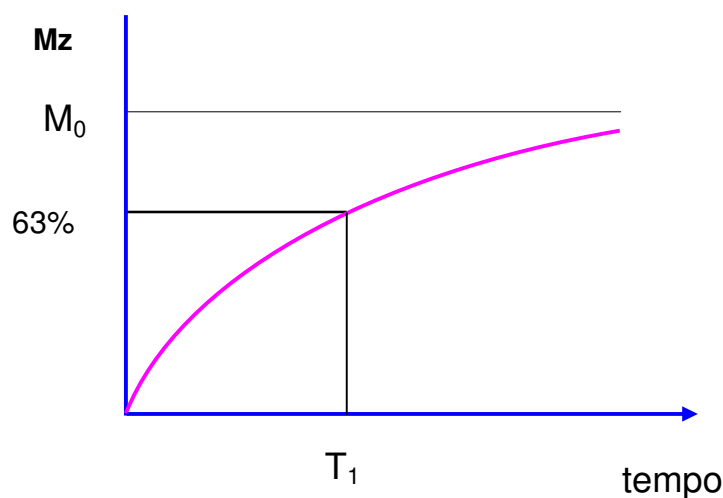



Figura 19 – Relaxação longitudinal e aumento da magnetização caracterizado pela constante de tempo T_1

T_1 e T_2 são dependentes da temperatura, do campo magnético e da composição química da matéria à qual o átomo está ligado.

Na água ou em fluido biológico semelhante, liquido céfalo raquidiano por exemplo, os núcleos estão relativamente livres com movimentos rápidos o que dificulta a transmissão de energia. Por isso têm tempos de decaimento T_1 e T_2 muito longos. Na matéria sólida e pastosa, ossos e tecidos, nos quais é mais eficaz a manutenção do campo magnético, é

Tabela 2 - Tempos de relaxação para vários tecidos humanos

Tecido	T_1 [ms]		T_2 [ms]
	0,5 T (21,28MHz)	**1,5T** (63,86MHz)	
Gordura	215	260	84
Fígado	323	490	43
Rins	449	650	58
Baço	554	780	62
Matéria branca	539	790	92
Parênquima	500	800	84
Pulmão	600	830	79
Músculo/esqueleto	600	870	47
Matéria cinzenta	656	920	101
Liquido céfalo raquidiano	>4000	>4000	>2000

Fonte: PEREIRA, Nuno Ricardo T. – *Aplicações Clínicas em Imagem por Ressonância Magnética*

reduzida a interacção spin-spin entre núcleos e por isso também T_2. Ainda na matéria sólida e pastosa a interacção spin-rede é geralmente pouco eficaz na medida em que a frequência de vibração das suas moléculas é menor que a vibração dos seus núcleos e por isso os tempos de transferência T_1 são longos embora muito inferiores aos tempos de transferência na água.

Estes tempos podem ser vistos na Tabela 2.

4.1.4 – Sinal FID (Free Induction Decay)

Conforme se verificou na Figura 17 as relaxações transversal e longitudinal, constituem o retorno do vector magnetização à posição correspondente à ausência de RF, com restituição da energia absorvida durante a excitação. A devolução desta energia, que ocorre à frequência de Larmor, apresenta-se no plano XY como a componente magnetização transversal $M_{xy,}$ que pode ser recolhida por uma antena e constitui o sinal de RMN, Figura 20.

Este sinal caracteriza-se por oscilar à frequência de Lamor, por possuir uma frequência

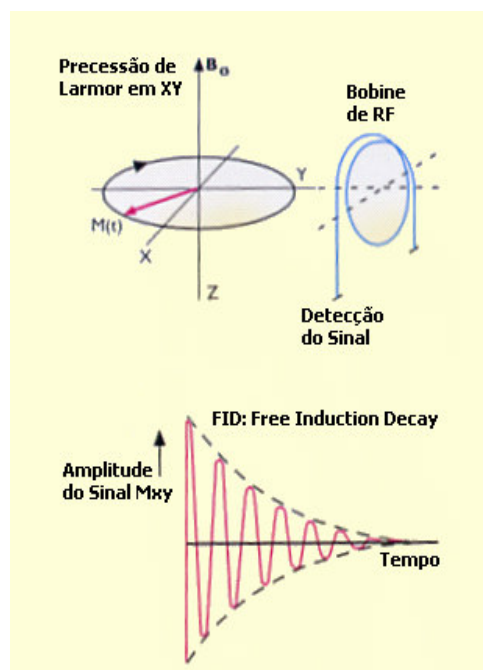



Figura 20-Decaimento do sinal Mxy durante a precessão de Larmor

inicial proporcional à densidade dos núcleos existentes no tecido e decresce exponencialmente em amplitude até ao valor zero.

Designado por Free Induction Decay (FID), evolui do valor máximo para zero segundo a constante de tempo T_2 que apresenta um valor teórico. De facto o campo B_0 não é uniforme, a frequência de precessão dos spins não é exactamente a mesma e a interacção entre eles geram um valor real de T_2^* significativamente inferior a T_2.

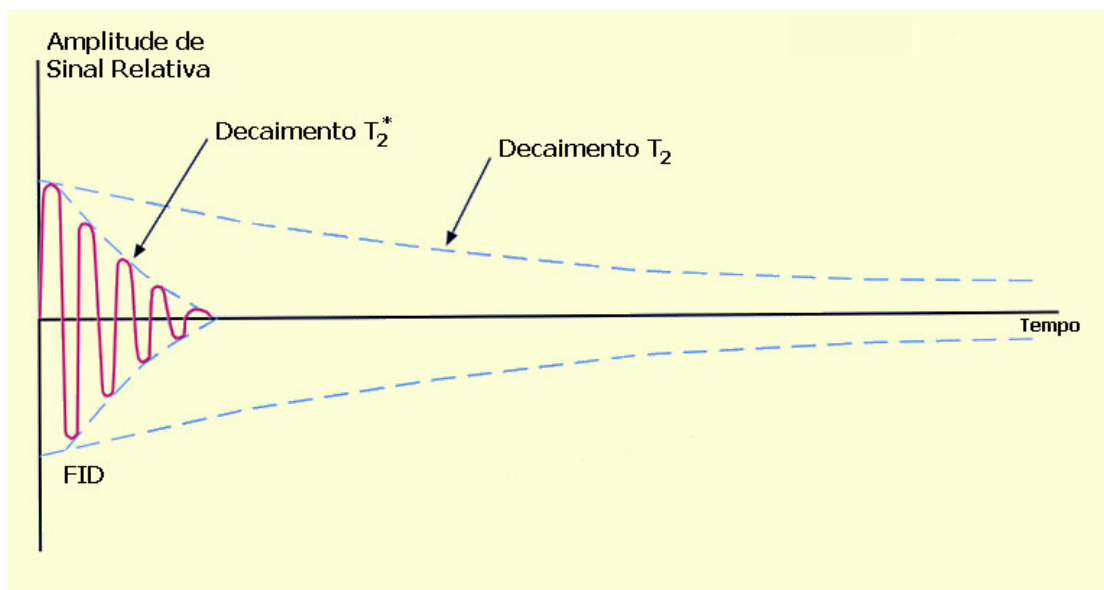



Figura 21 – Decaimento do sinal

O valor de T_2^* é dado pela fórmula

$$\frac{1}{T_2^*} = \frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_2(\text{var}\,i\acute{a}vel)} \qquad (5)$$

Sendo:

T_2^* – Constante de tempo real;

T_2 – Constante de tempo teórica em campo homogéneo;

T_2 (variável) – Constante de tempo resultante das não homogeneidades do campo.

Deste modo as frequências de precessão dos núcleos variam em torno da frequência ω_L.

4.1.5 – Influência da densidade protónica e dos tempos de relaxação na imagem

Já verificámos que os parâmetros mensuráveis na RMN são:

- A densidade de protões;
- O tempo de relaxação longitudinal spin-rede, T_1;
- O tempo de relaxação transversal spin-spin, T_2.

Para além destes a frequência de Larmor pode mudar ligeiramente, dependendo do ambiente químico em que o núcleo se insere. Este fenómeno é conhecido como deslocamento químico.

Os primeiros três são importantes para a construção da imagem, enquanto o último é usado na espectrometria RMN para identificar a presença de vários compostos orgânicos e inorgânicos.

A imagem RMN é essencialmente uma forma de tomografia por emissão, imagem de um corte transversal, na qual a informação requerida para a produção de imagem é gerada a partir do sinal electromagnético originado no interior do corpo humano. A base para este sinal é a presença de protões pelo que quanto mais protões existem num determinado volume, maior é o sinal oriundo desse volume.

$$S=k*n \qquad (6)$$

k- constante

n- densidade de protões

Contudo, embora a densidade protónica seja importante, é a variação da intensidade do sinal devida à influência dos tempos de relaxação que faz da imagem de protões uma técnica atractiva como técnica de diagnóstico baseada na imagem.

O contraste nas imagens RMN é obtido por ponderação dos parâmetros anteriores, isto é, as imagens são construídas com predominância de informação de um deles e por opção do técnico que opera o equipamento.

No contraste pela relaxação longitudinal o tempo T_1, em materiais biológicos, para os protões assume valores que podem variar de cerca de três décimas de segundo até vários segundos, dependendo da intensidade do campo magnético e assume valores específicos para cada tipo de tecido biológico. A aplicação de uma sequência de impulsos de RF de

90°[2], separados entre si por um Tempo de Repetição (TR), e a detecção dos sinais resultantes designa-se por método de saturação recuperação (Figura – 22). Se for aplicado um TR maior que T_1 a componente longitudinal da magnetização tem tempo suficiente para recuperar completamente e voltar à condição de equilíbrio inicial antes da aplicação do ciclo seguinte. Se TR é reduzido para valor inferior a T_1 a recuperação da magnetização longitudinal é parcial ficando com um valor inferior.

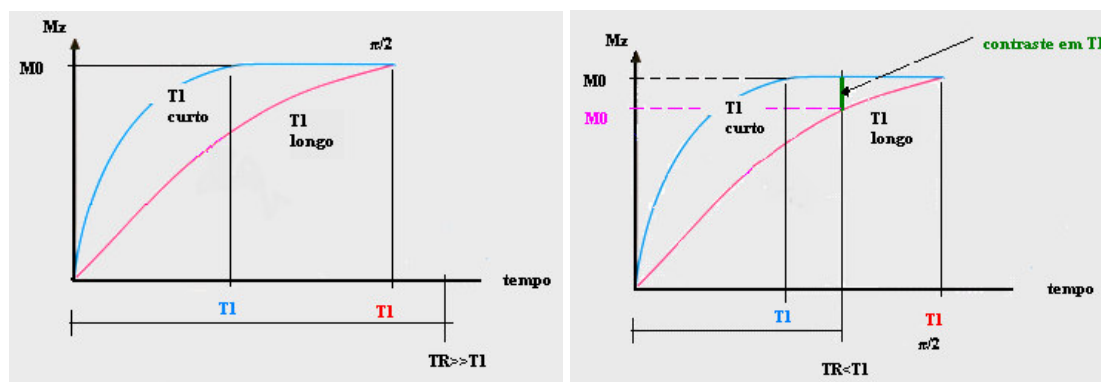



Figura 22 – Contraste em T_1

Por este método, escolhendo adequadamente TR, é possível discriminar tecidos, no caso da figura assinalados a vermelho e a azul, com valores de T_1 diferentes através do contraste gerado pela diferença de intensidade dos vectores magnetização daqueles tecidos.

No contraste pela relaxação transversal T_2, o valor máximo do sinal é obtido imediatamente a seguir à excitação dos protões. Este valor do sinal decai a uma taxa caracterizada por T_2. e se um pequeno tempo de atraso ocorre depois da excitação antes da detecção do sinal se iniciar, Tempo de Eco (TE), o valor deste nos diferentes tecidos terá decaído de um determinado valor dependente do seu valor característico T_2. Isto pode novamente ser usado para dar contraste à imagem (Figura 23).

A formação de imagens de RMN consegue-se com aplicação de sequências de impulsos de RF de forma a dar maior peso aos parâmetros desejados. Uma sequência amplamente utilizada e com a qual se obtém uma imagem ponderada em T_2 é constituída por um impulso de 90º seguido de vários de 180º. Esta técnica é designada por Spin Eco (SE).

[2] Um impulso de 90º significa que a RF aplicada à frequência de Larmor tem uma amplitude e duração que lhe conferem energia suficiente para levar o vector magnetização do eixo dos Z para o plano XY, isto é, rode 90º.

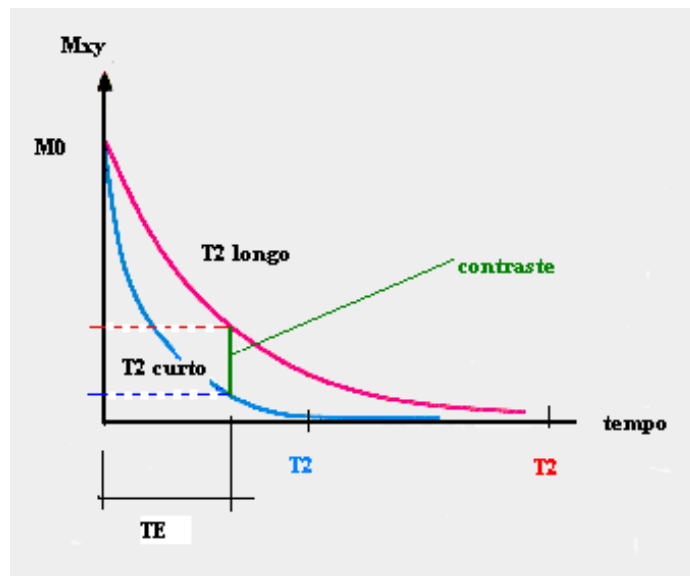



Figura 23 – Contraste em T2

Alem desta, que pode considerar-se uma técnica base, existem outras tais como a Inversion Recovery, Eco de Gradiente, Fast Field Eco, Short Time Inversion Recovery, Turbo Spin Eco, Turbo Field Eco, Eco Planar Imaging, etc. que não serão tratadas no presente trabalho porque não se enquadram nos seus objectivos.

4.1.6 – A técnica Spin Eco

A técnica Spin Eco consiste na aplicação de uma radiofrequência com um impulso de 90º seguido de vários de 180º. O impulso de 90º excita os núcleos rodando o vector magnetização do eixo dos Z para o plano XY. Inicia-se um processo de desfasagem das frequências de precessão dos núcleos devido às não homogeneidades do campo magnético, que conforme já referido caracteriza-se pela constante de tempo de decaimento do sinal FID, T_2^*, com um valor típico da ordem dos 20ms. Passado algum tempo e resultado da diferença de frequências de precessão dos diversos núcleos, estes começam a ficar desfasados. Após o tempo TE/2, sendo TE o tempo de Eco definido como o tempo que decorre entre o impulso de 90º e a amplitude máxima do eco, é aplicado um impulso de 180º, Figura 24.

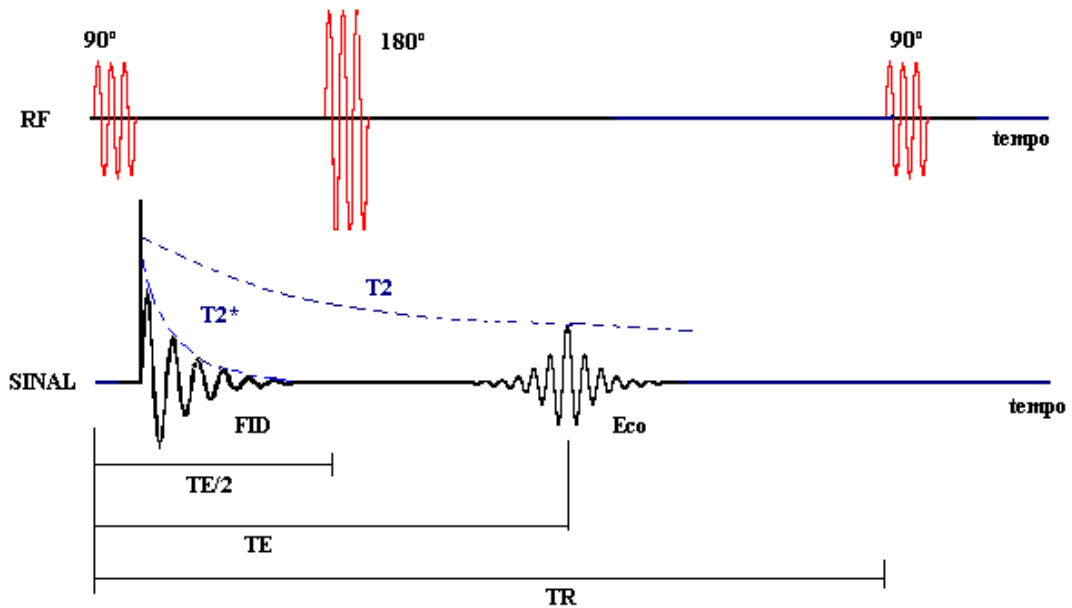



Figura 24 -Diagrama de impulsos, sinais e tempos para a técnica Spin Eco

Este impulso vai fazer com que o vector magnetização total rode 180º no plano transversal e cada um dos núcleos inicia um processo de precessão em sentido contrário, mas com as mesmas diferentes frequências e ao fim de mais um TE/2 todos estão novamente em fase e nesse momento o sinal de eco atinge o seu valor máximo, Figura 25.

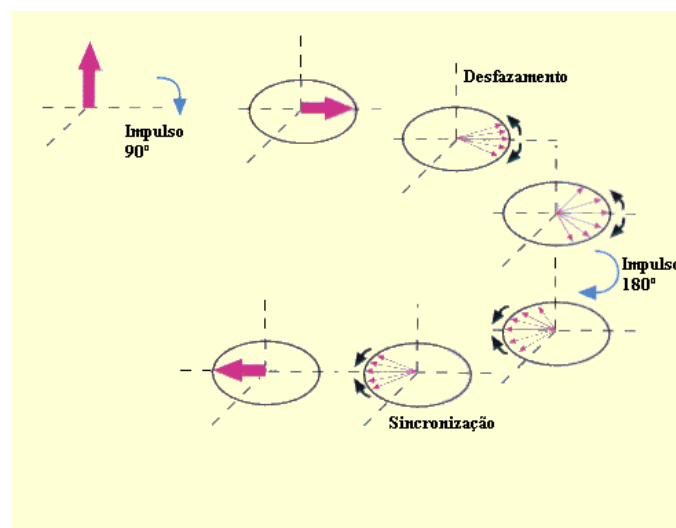



Figura 25 -Desfasamento dos momentos magnéticos na técnica Spin Eco

4.2 – A Formação da imagem

Nos números anteriores do presente capítulo foram descritos os princípios físicos que permitem obter sinais de RM e como conseguir contraste entre os diversos tipos de tecidos. Falta demonstrar a construção de uma imagem, neste caso tomográfica, a partir dos sinais emitidos pelos núcleos de hidrogénio.

Sabendo-se que a frequência de ressonância de cada núcleo é função do valor do campo magnético estático, identificado anteriormente como B_0, na fatia do corpo cuja imagem se pretende obter é necessário criar um valor de campo diferente do restante. Este obtém-se por aplicação de um gradiente de campo que altera a frequência de ressonância dos núcleos em função da sua posição espacial. Assim, este processo de obtenção de imagem de RM comporta duas operações:

- Selecção do corte;
- Codificação espacial do sinal de RM do corte escolhido.

4.2.1 – Gradientes de campo magnético

As alterações do campo magnético são provocadas por três pares de bobinas, as bobinas de gradiente, situadas no interior do magneto e orientadas segundo os três eixos X, Y e Z, este na direcção de B_0. Os gradientes alteram linearmente o valor de B_0 na direcção de cada um dos eixos a partir do isocentro do magneto onde o campo tem o valor de B_0.

A frequência de precessão em cada ponto do eixo é dada pela fórmula

$$\omega_L = \gamma \ (B_0 + G_r) \quad r = x,y,z \qquad (7)$$

B_0 - Campo magnético expresso em Gauss ou Tesla (1 Tesla= 10K Gauss)

γ - É a relação giromagnética do protão que é uma constante de cada núcleo, cujo valor para o hidrogénio é de 42,57MHz/T

G_r – Gradiente magnético segundo uma direcção r

A título de exemplo um gradiente linear de 1 G/cm aplicado a um campo de 1Tesla gera as variações apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Variação espacial de frequência com o gradiente

Posição ao longo do eixo	Intensidade do campo magnetico [Gauss]	Frequência de Larmor do ^{1}H [MHz]
No isocentro	10.000	42,5700
A 1 cm negativo do isocentro	9.999	42,5657
A 2 cm negativos do isocentro	9.998	42,5614
A 1 cm positivo do isocentro	10.001	42,5742
A 2 cm positivos do isocentro	10.002	42,5785
A 10 cm negativos do isocentro	9.990	42,5274

Fonte: PEREIRA, Nuno Ricardo T. – *Aplicações Clínicas em Imagem por Ressonância Magnética*

4.2.2 – Selecção do corte

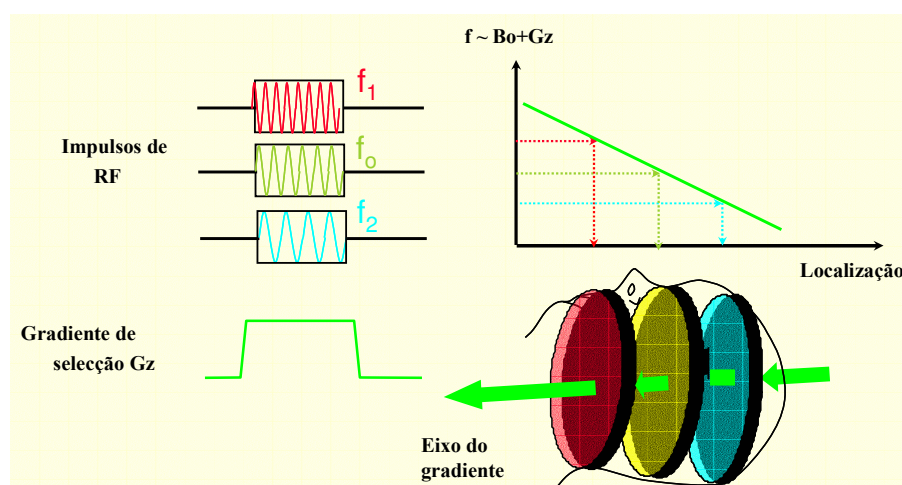
A selecção do plano de corte é efectuada criando um gradiente no campo magnético num eixo perpendicular ao plano de corte seleccionado. Ao longo deste eixo a frequência de precessão dos núcleos vai variando tendo um valor particular no ponto de intersecção com o plano definido. Aplicando um impulso de RF com uma estreita largura de banda de frequências, os núcleos excitados são apenas aqueles que, situando-se no eixo do campo ao longo do gradiente, têm frequências de ressonância iguais às da largura de banda do impulso de RF. Fica deste modo seleccionado o plano e fica também garantido que os restantes planos que intersectam o gradiente ao longo do eixo do campo não entram em ressonância porque a sua frequência de precessão é diferente. Na Figura 26 mostra-se a selecção de três cortes por aplicação de três frequências crescentes correspondentes a localizações de campo com valor crescente.

Fonte: PHILIPS Medical Systems – *Ressonância Magnética - Aplicações Clínicas*

Figura 26 – Selecção do corte

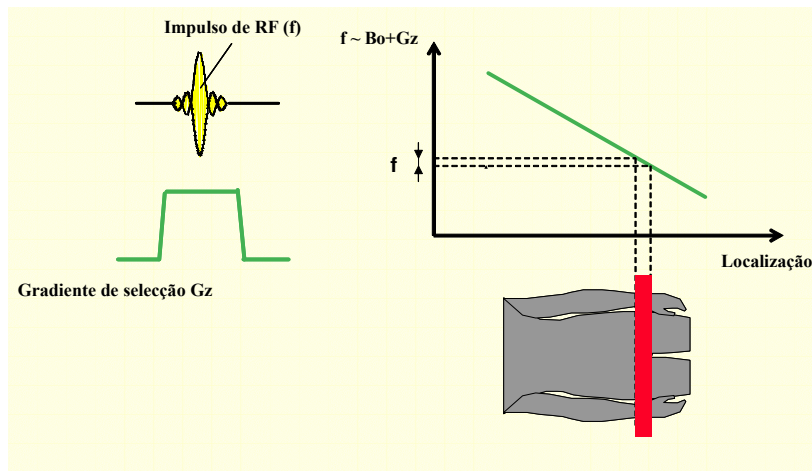
A espessura do corte depende da amplitude do gradiente e da largura de banda do impulso de RF, Figura 27.

Fonte: PHILIPS Medical Systems – *Ressonância Magnética - Aplicações Clínicas*

Figura 27 – Espessura do corte

Quanto maior for a amplitude do gradiente maior a diferença entre dois pontos do seu eixo ficando assim melhor definidos e reduzidos os contornos da faixa excitada. Na Figura 27 pode verificar-se que a alterações no gradiente correspondem variações da inclinação da linha que o representa e consequentemente variações na espessura do corte. A largura de banda determina o intervalo de frequências que vai ser excitado, pelo que quanto menor for o intervalo menor será a espessura do corte, o que também se pode ver na mesma figura. Para que o impulso de excitação de RF seja uniforme ao longo do corte é necessário que

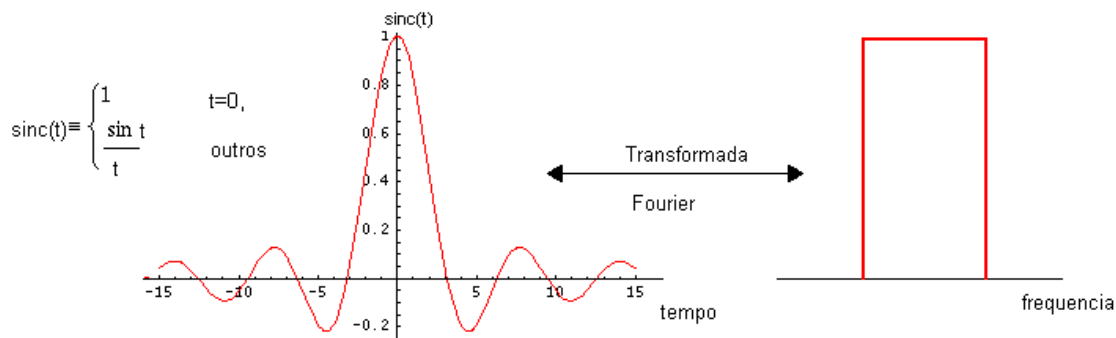



Figura 28 – Função sinc transforma-se em onda rectangular por aplicação da TF

contenha apenas a frequência desejada. Tal não acontece na realidade pelo que o impulso de RF é modulado com uma função seno cardinal para que a sua transformada de Fourier tenha um espectro rectangular, Figura 28, obtendo-se deste modo um impulso uniforme ao longo do corte.

4.2.3 – Codificação de fase

Gerado o campo para obtenção do gradiente de selecção de corte e aplicado o impulso de RF os núcleos do corte seleccionado precessam com a mesma frequência e em fase. Perpendicular ao campo gerado para obtenção do gradiente de corte é gerado outro campo para obtenção do gradiente de codificação de fase que produz uma variação de campo na direcção de um dos eixos do plano XY, por exemplo o eixo Y, alterando a frequência de precessão e consequentemente a respectiva fase ao longo deste eixo.

Após cessação dos campos magnéticos que originaram os gradientes anteriores o campo magnético principal retoma o valor inicial B_0 e a frequência de precessão volta ao valor também inicial, correspondente a B_0, mas mantendo o desfasamento adquirido. Da Figura 29 verificamos que devido ao gradiente obtido foram conseguidas pequenas fatias no corte, perpendiculares ao campo que originou o gradiente e ao longo das quais a frequência de precessão é igual, sendo variável e crescente entre elas no sentido do crescimento do campo.

O campo magnético para obtenção do gradiente de codificação de fase é aplicado Ny vezes, tantas quantas as leituras necessárias à construção da imagem.

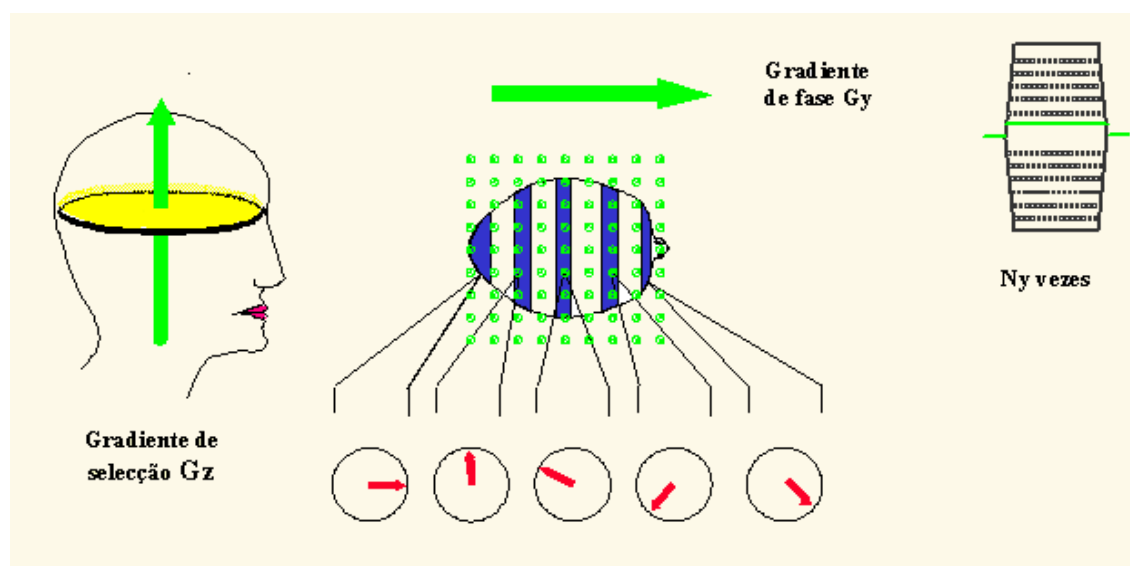



Figura 29 – Gradiente de codificação de fase

4.2.3 – Codificação em frequência

Seleccionado o corte ao longo do eixo Z e efectuada a codificação de fase numa direcção Y, é necessário agora codificar o sinal no plano XY, por um processo conhecido como

codificação em frequência, para se construir a imagem. Para o efeito aplica-se um campo magnético ao longo de um dos eixos obtendo-se um gradiente no campo, habitualmente ao longo do eixo dos X e por isso identificado como Gx. Este altera a frequência de precessão dos núcleos obtendo-se um sinal composto pelas diversas frequências de precessão ao longo do campo que deu origem ao gradiente. Os núcleos ao longo das linhas perpendiculares ao gradiente precessarão com a mesma frequência, Figura 30.

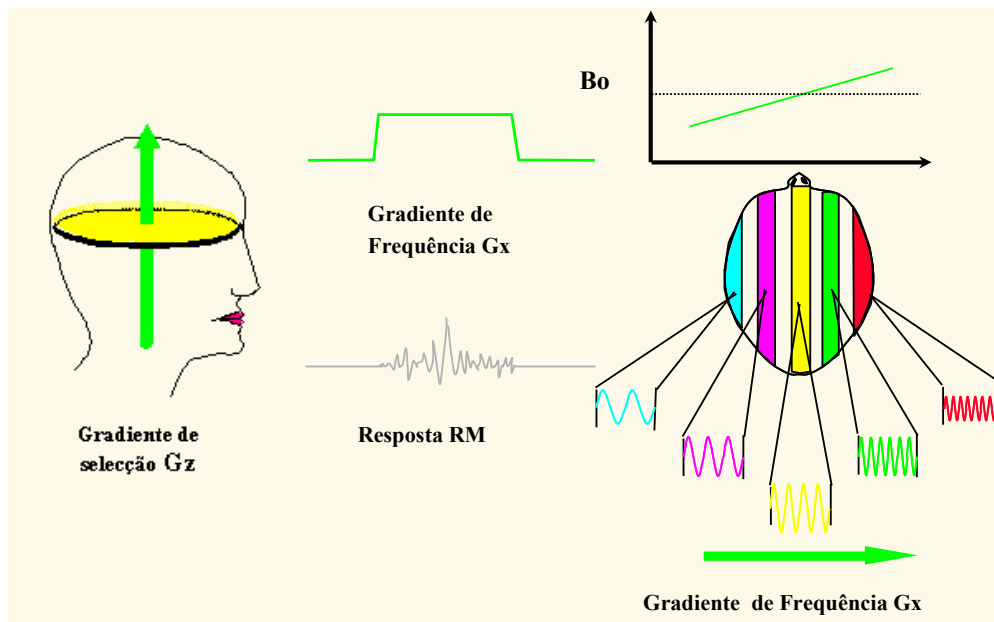



Figura 30 – Codificação em frequência através de Gx

O gradiente aplicado designa-se também por gradiente de leitura pois a leitura do sinal faz-se durante a aplicação do gradiente.

4.2.4 – A imagem

Por aplicação do gradiente de selecção de corte é definida a secção do corpo a ser convertida numa imagem. Seguidamente, com o gradiente de fase codificam-se Ny linhas do plano seleccionado com ângulos de fase diferentes dos respectivos movimentos de precessão. Por fim, por aplicação do gradiente para codificação de frequência, perpendicular ao campo que originou o gradiente para codificação de fase, são definidas Nx linhas com frequências de precessão diferentes. Com o cruzamento destas linhas obtêm-se Nx*Ny pontos que pelo seu pequeno volume se designam por voxel e que se identificam pela precessão dos seus núcleos a uma determinada frequência e fase. Na Figura 31 podemos ver a sequência de aplicação dos gradientes.

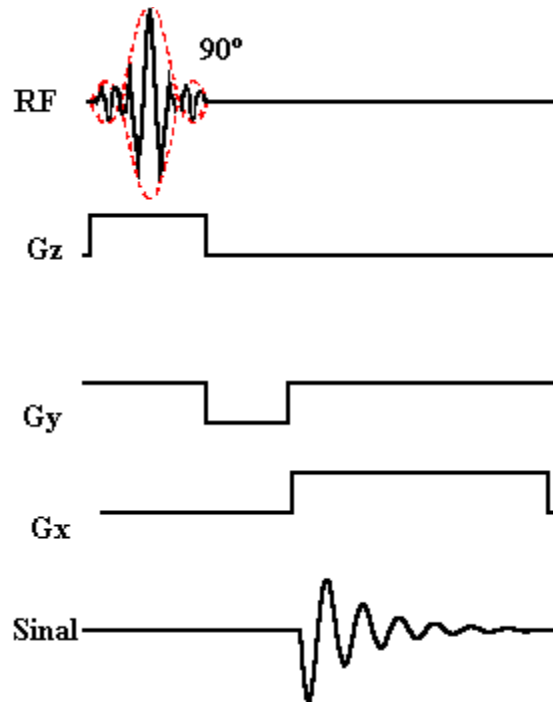



Figura 31 – Sequência de aplicação dos gradientes

Com este conjunto de Nx*Ny sinais e através da transformada bidimensional de Fourier reconstrói-se uma imagem de Nx*Ny pixels, Figura 32.

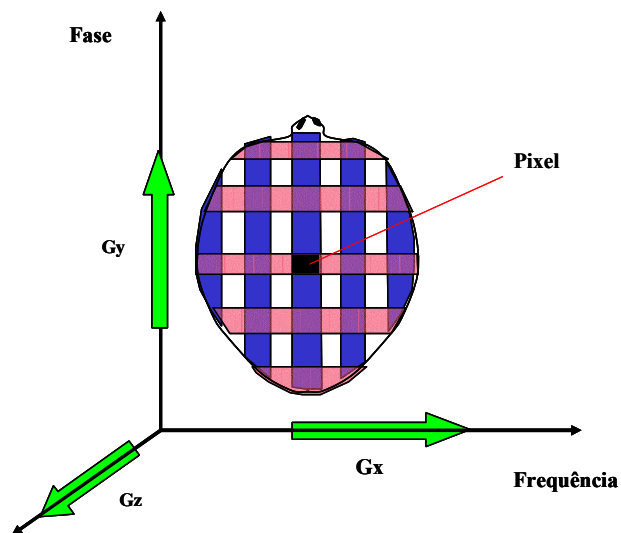



Figura 32 – A imagem de Nx*Ny pixels

4.3 - Interpretação da Imagem

As imagens de RMN distinguem tecidos com densidades diferentes já que a esta diferença corresponde também diferença na densidade protónica. Nos tecidos moles e na água existe mais elevada densidade de protões que nos tecidos fibrosos, ossos e ar. Aqueles produzem um sinal de maior intensidade e imagens com maior brilho ao contrário destes que com menor densidade protónica produzem um sinal menos intenso e uma imagem com menor brilho.

No entanto o valor do sinal não depende apenas da densidade protónica nos tecidos mas também dos tempos de relaxação T_1 e T_2, conforme já descrito anteriormente, e estes da mobilidade dos protões no meio a que pertencem. Por exemplo nos sólidos, os tempos de relaxação T_1 são longos e T_2 são curtos o que contribui para a redução do valor do sinal recolhido e para uma imagem mais escura. Esta é a vantagem da RMN relativamente a outros meios de diagnóstico baseados na permeabilidade dos tecidos, por exemplo à radiação X. Na RMN obtém-se contraste não só a partir da densidade protónica mas também daqueles tempos permitindo a diferenciação entre tecidos moles como se pode verificar na tabela 2.

Os tecidos com tumores são frequentemente identificáveis através da medida do T_1 e do T_2, uma vez que a resposta T_1 e T_2 do tecido com tumor é diferente da do tecido saudável. Também a matéria cinzenta e branca no cérebro podem ser diferenciadas pelos seus tempos de relaxação diferentes.

O líquido céfalo-raquidiano, é usualmente apresentado como zona escura devido ao seu longo tempo de relaxação T_1. Em geral, os detalhes com um T_1 mais longo aparecem com maior contraste, isto é, mais escuros na imagem.

Um outro factor que influencia a intensidade do sinal é a fonte do sinal estar ou não em movimento. Por exemplo, a intensidade do sinal do sangue fluindo é frequentemente diferente do líquido em repouso com a mesma densidade protónica e tempos de relaxação.

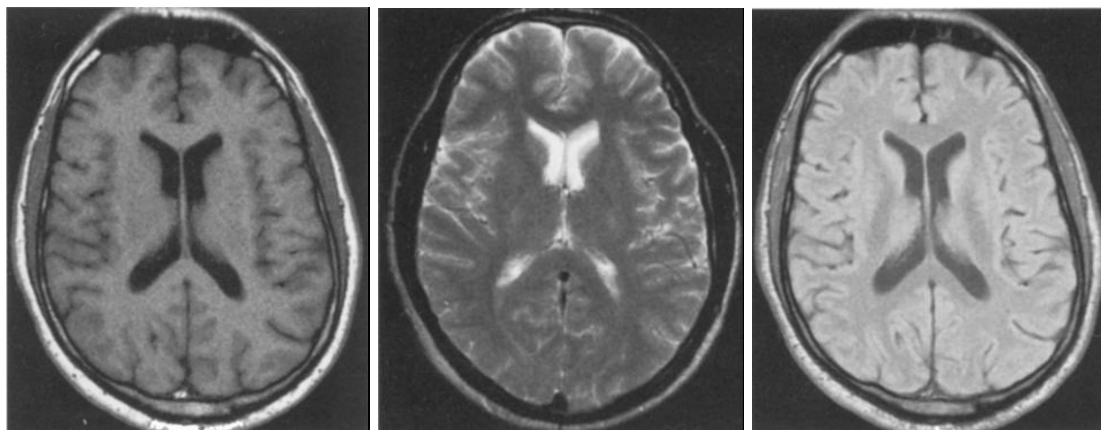
Por fim, apresenta-se a Figura 33 com três imagens obtidas pela técnica Spin Eco, ponderadas respectivamente em $T_{1,}$ T_2. e em densidade protónica, podendo verificar-se a influência dos TE e TR.

Fonte: Basic Principles of MR Imaging, Philips

Figura 33 – Variação de contraste com os parâmetros ponderados:

Imagem da esquerda - corresponde a uma imagem ponderada em T_1 com TE curto (20ms) e um TR também curto (400ms);

Imagem central - corresponde a uma imagem ponderada em T_2 com um TE longo (122ms) e um TR também longo (2000ms);

Imagem da direita - ponderada na densidade protónica com um TE curto (20ms) e um TR longo (2000ms).

4.4 – Instrumentação em RMN

A RMN, conforme descrito nos números anteriores do presente capitulo, utiliza a combinação de um campo magnético estático e variações locais deste campo (gradiente de campo magnético) para codificar a informação no espaço.

A informação tem origem nos núcleos existentes no tecido após excitação por uma radiofrequência (RF). Um sistema de detecção capta a energia de um sinal de RF reemitido e um sistema computorizado de processamento digital constrói a imagem. Este objectivo é atingido por uma estrutura que funcionalmente tem a seguinte organização:

- Magneto, gerador do campo magnético estático;
- Sistema gerador de gradientes de campo magnético constituído por amplificadores de gradiente e bobinas de gradiente;
- Amplificador de RF com bobine emissora e receptores;
- Sistema de controlo e aquisição de dados para processamento digital e medição de parâmetros fisiológicos tais como respiração e ECG;
- Sistema de reconstrução de imagem;

- Consola para operação do sistema, visualização de imagens e introdução de parâmetros pelo operador;
- Sistema de arquivo de imagens;
- Mesa para posicionamento do doente no magneto durante o exame;
- Escudo de protecção magnética e escudo de protecção de RF.

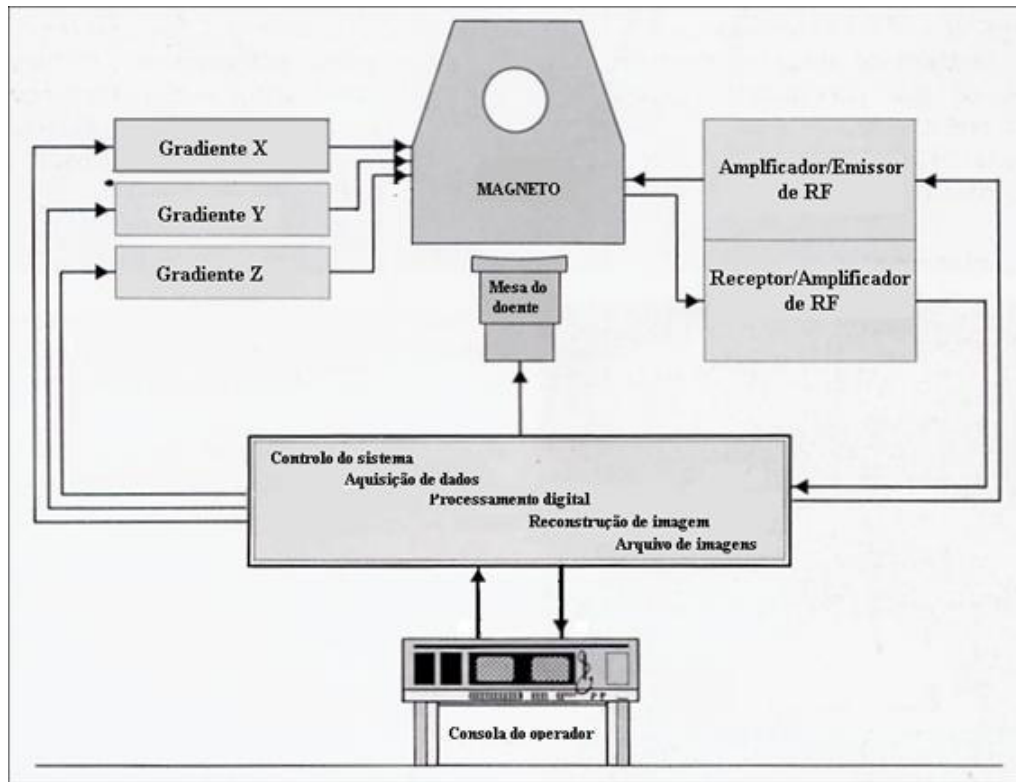



Figura 34 – Diagrama de blocos da RMN

No equipamento em estudo estas funcionalidades são realizadas pelos seguintes conjuntos, conforme consta do Anexo A:

- A – Sistema de refrigeração, utilizando hélio para refrigeração do magneto supercondutor à temperatura de 4,3 ºK;
-B – Consola do sistema de informação, que para além da consola do operador comporta o arquivo de imagens;
- D – Bastidor de gradientes, com todo o sistema gerador de gradientes;
- F – Bastidor de aquisição de dados, que inclui todo o sistema de amplificação de RF e aquisição de dados para processamento digital;
- H – Alimentação eléctrica;
- L – Mesa do paciente;
- M – Conjunto do magneto;
- S – Diversos, incluindo as bobinas de emissão e recepção;
- Z – Filtros de sinais, para prevenir interferências com o sinal de RF.

Na Figura 35 apresenta-se uma implantação típica de um equipamento de RMN.

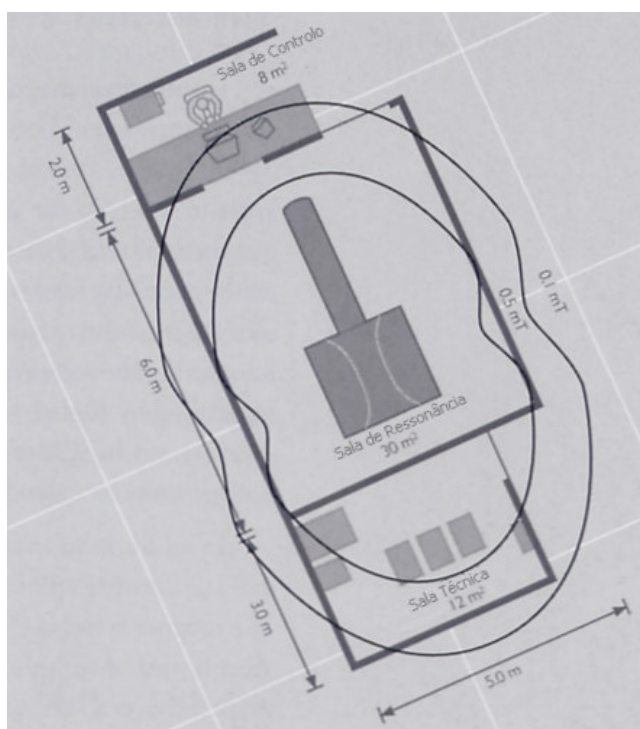



Figura 35 – Implantação típica de um equipamento de RMN

4.4.1 – O magneto

Os equipamentos vulgarmente comercializados para uso clínico estão disponíveis com intensidades de campo que variam de 0,5 a 3 Tesla (densidade de fluxo magnético). Para comparação: o campo magnético da terra varia entre 0,2 e 0,7 Gauss (1 Gauss é igual a 0,0001 Tesla).

A utilização de intensidades de campo mais elevadas resulta numa magnetização efectiva mais elevada e potencialmente em sinais mais intensos. Na realidade o contraste da imagem diminui para campos muito elevados e a relação sinal ruído degrada-se pela maior atenuação da RF no corpo humano porque a frequência de ressonância e a absorção de energia de radiofrequência aumentam com a intensidade crescente do campo.

Por outro lado os níveis elevados da energia de RF requeridos para a operação em campos mais intensos podem, em alguns casos, exceder as directrizes e/ou normas actuais para a deposição de energia no paciente.

Além da intensidade, a homogeneidade do campo magnético é um parâmetro importante no sistema do magneto. Um campo homogéneo gera imagens sem distorção e com a máxima relação sinal-ruído.

É comum especificar a homogeneidade do campo com a aceitação de uma variação de aproximadamente 2 p.p.m. (partes por milhão) sobre num volume esférico de 25 cm de diâmetro situado no isocentro do magneto ou de aproximadamente 5 p.p.m. ao longo do corpo.

Existem três tipos de magnetos: magnetos resistivos, magnetos permanentes e magnetos supercondutores.

O magneto-resistivo consiste na passagem de uma corrente eléctrica de elevada intensidade através dos enrolamentos duma bobina, criando desse modo um campo magnético.

Os magnetos permanentes não necessitam de qualquer fonte de alimentação para criar o campo magnético, mas apenas geram intensidades de campo baixas.

Para campos magnéticos de intensidades mais elevadas são usados magnetos supercondutores, que têm os enrolamentos da bobina imersos num líquido criogénico, o hélio líquido, que se encontra à temperatura de 4,3 ºK. A esta temperatura os enrolamentos tornam-se supercondutores pelo que induzida uma corrente, cerca de 300 amperes, a fonte externa apenas fornecerá uma tensão residual garantindo aquele valor de corrente no enrolamento mantendo desta forma o campo magnético. Esta temperatura só é possível pela utilização de dois escudos térmicos que são mantidos às temperaturas de 15 e 60 ºK através dum dispositivo designado por "Cold Head" que é responsável pela expansão e compressão do hélio líquido de forma a conseguir a transmissão de calor necessário aquelas temperaturas. Para impedir trocas de calor com o exterior o reservatório de hélio e os escudos térmicos encontram-se numa câmara de vácuo. Apesar dos mecanismos descritos existe um inevitável consumo de hélio que origina a sua recarga periódica.

4.4.2 – Bobinas de gradiente

Um gradiente de campo magnético é um campo magnético que varia linearmente numa determinada direcção. Na RMN Gx, Gy e Gz são os gradientes que se desenvolvem segundo as três direcções ortogonais X,Y e Z somando-se ao campo principal.

Estes gradientes são produzidos por três conjuntos de bobinas posicionadas ortogonalmente conforme se pode ver na Figura 36.

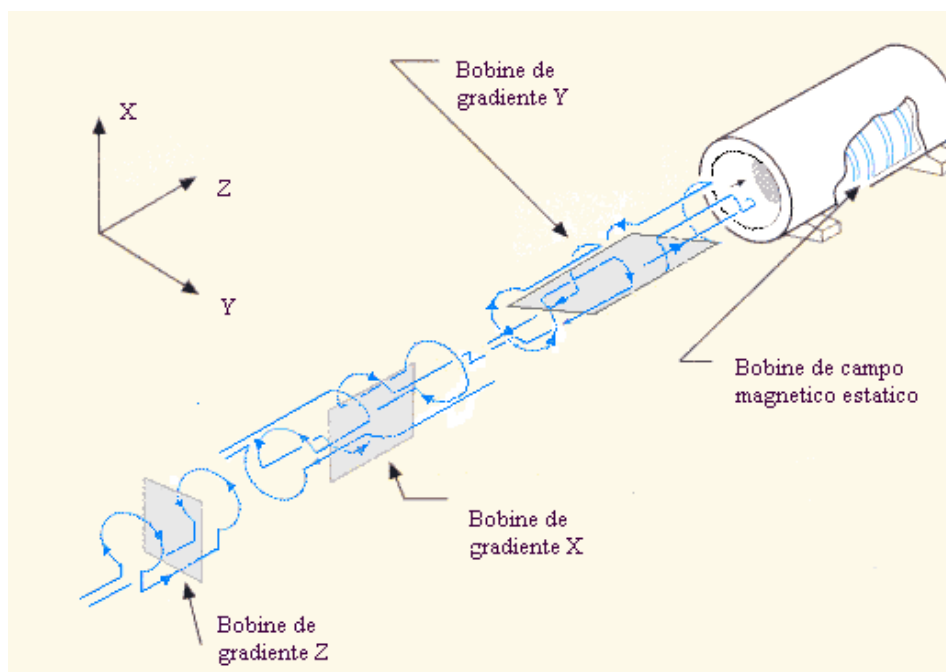



Figura 36 - Localização típica das bobinas na RM

Cada conjunto de bobinas é alimentado por uma fonte de alimentação com controlo individual. Além de gerar os gradientes orientados segundo os eixos x, y, ou z, alimentando as bobinas de gradiente em combinação, é possível gerar gradientes de campo magnético com uma qualquer orientação.

As correntes através das bobinas de gradiente são da ordem de várias centenas de ampères. Consequentemente, forças electrodinâmicas de grande intensidade actuam nas peças mecânicas do equipamento e estas vibram durante a comutação do gradiente, produzindo o ruído acústico característico da RMN durante o seu normal funcionamento. Este ruído deve-se às correntes de eddy (correntes eléctricas de indução que se desenvolvem nas massas metálicas por acção de um campo magnético variável, também conhecidas por correntes de Foucault). As correntes de eddy por sua vez também produzem um campo não desejado o que causa artefactos nas imagens. Os efeitos das correntes de eddy são minimizados pela concepção das bobinas de gradiente fortemente blindadas, onde o efeito do campo da corrente de eddy é minimizado por um campo gerado por uma bobina adicional na vizinhança da bobina original de gradiente.

4.4.3 – Bobinas de radiofrequência

As bobinas de radiofrequência, mais vulgarmente designadas por antenas de radiofrequência, são usadas para a excitação dos núcleos e/ou para a detecção do sinal.

Podem ser usadas individualmente ou em conjunto podendo uma bobine ser usada para excitação ou para detecção ou para ambas as funções. As bobinas devem estar sintonizadas com a frequência de ressonância dos núcleos que estão a ser observados.

Para detecção óptima do sinal, o corpo em observação deve encher a maior parte da bobina de detecção. Tipicamente, é recomendado um factor de enchimento de 70% ou superior.

As antenas de RF típicas são de três tipos: antenas de superfície, antenas de quadratura e antenas de sinergia.

Figura 37 – A: Antena tipo sinergia para coluna total; B: Antena tipo quadratura para cabeça; C: Antena tipo quadratura para extremidades; D: Antena abdominal e torácica

As antenas de superfície são flexíveis tendo a vantagem de se adaptarem aos diversos contornos anatómicos e apresentarem por isso um factor de enchimento muito elevado. Têm a limitação de apenas serem detectoras e por isso apenas podem ser usadas em

conjunto com uma antena de quadratura. São antenas típicas de superfície as antenas para extremidades, envolventes de corpo e de mama.

Nas antenas de quadratura, rígidas, cada barra actua como uma antena individual perpendicular a outra obtendo-se um ganho muito elevado pela combinação dos dois sinais. São vulgares antenas de quadratura para a cabeça e para o corpo.

A antena de sinergia é composta por uma rede de bobinas de quadratura que recebem em simultâneo o sinal de RM, consequentemente sem aumento do tempo de varrimento. Cada bobina cobre uma parte diferente do corpo, por exemplo da coluna e após uma medição, as imagens de todos os elementos da bobina podem ser combinadas num grande campo de visionamento da imagem. Nesta imagem, a relação sinal-ruído é melhor em aproximadamente 50% em comparação com as imagens de uma bobina de superfície flexível do tamanho de um dos elementos da antena. São frequentes antenas de sinergia para o corpo, coluna e coração.

4.4.4 – Sistema de aquisição e de controlo

O sistema de aquisição e controlo está localizado na sala técnica e funcionalmente serve de ponte entre o computador da consola de trabalho, o reconstrutor de imagens e o controlo de gradientes, de RF e de monitorização fisiológica. Este sistema, executa o processamento dos programas de RM, a aquisição e desmodulação do sinal de imagem de RM, a aquisição e desmodulação dos sinais de RM e sua transferência para o processador de matrizes, a calibração automática da RF e dos gradientes e o processamento dos sinais fisiológicos.

4.4.5 – Blindagem magnética

A blindagem magnética é necessária para proteger a área circundante dos efeitos do campo magnético. Muitos objectos tais como relógios, cartões de crédito etc. podem ser danificados por um campo magnético. Do ponto de vista clínico o perigo é elevado para dispositivos tais como os pacemakers e outros implantes. Para evitar estes perigos é necessário isolar o magneto construindo uma blindagem magnética para limitar a extensão da zona do campo. Por outro lado a blindagem também é necessária para manter a homogeneidade do campo magnético que pode ser distorcida por factores externos nomeadamente pela passagem de viaturas, comboios ou elevadores.

Os magnetos podem ser blindados de forma passiva através do seu chapeamento com pesadas placas de ferro o que acarreta um elevado peso extra. Também pode ser protegido de forma activa através de uma bobina externa supercondutora com campo contrário ao principal.

4.4.6 – Blindagem de RF

Figura 37 – Blindagem de RF

O sinal da imagem de RM é relativamente fraco, pelo que pequenas interferências externas de RF podem degradar de forma significativa a qualidade da imagem. Por consequência, os sistemas de RM requerem que a sala seja blindada às fontes externas de RF. Isto envolve a aplicação de protecções condutoras nas paredes, soalho, tectos e porta da sala de RM constituindo uma gaiola de Faraday.

4.5 – Conclusões do capítulo

O presente capítulo foi iniciado com a descrição dos princípios físicos nos quais se fundamenta a obtenção de sinais de RM.

O fenómeno baseia-se na propriedade das partículas atómicas, em particular dos núcleos, terem o movimento de spin. Pela sua abundância e pelo seu elevado momento magnético os núcleos de hidrogénio são utilizados na RMN, começando por se alinharem perante um campo estático, excitarem por aplicação de um sinal de RF e emitirem a energia absorvida na excitação por ausência daquele sinal.

Neste processo a ressonância ocorre entre a frequência do sinal de RF aplicado e a frequência de precessão dos núcleos de hidrogénio, designada por frequência de Larmor, e é utilizada para a selecção do corte e para a codificação do sinal de RM para que este possa ser utilizado na construção de imagens.

As imagens obtidas e o seu contraste dependem da densidade de protões nos tecidos em observação e dos tempos de recuperação dos protões da situação de excitados para o estado de energia mínima, tempos de relaxação T_1 e T_2.

Existem várias técnicas de imagem de RM sendo a Spin Eco considerada uma técnica base e como tal foi tratada. Deste modo é possível obter imagens tomográficas com contraste entre tecidos de densidades semelhantes (tecidos moles), o que não é possível através de outras tecnologias baseadas na permeabilidade, por exemplo aos RX.

Este equipamento é, no fundamental, constituído por uma bobina supercondutora que gera o campo principal estático, bobinas de gradiente que geram os campos variáveis para selecção dos cortes e codificação do sinal e os geradores e receptores de RF cuja energia dos sinais é transmitida aos protões e devolvida constituindo o sinal de RM. A reconstrução de imagem só é possível através de software e hardware específicos.

Capítulo 5 – Metodologia adoptada no estudo da manutenção da RMN

5.1 – Introdução - Objectivos da metodologia

Figura 39–RMN Gyroscan T5-NT do H. Stª Maria

O equipamento em estudo é a Resonância Magnética Nuclear (RMN), marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT (0,5 Tesla) instalada no Hospital de Santa Maria, no Serviço de Imagiologia.

Encontra-se em funcionamento há 10 anos sob um regime de trabalho que se pode considerar intenso para este tipo de equipamento. A actividade do equipamento pode avaliar-se pelo quadro seguinte.

Tabela 4- Actividade da RMN

Ano	2004		2005	
Origem \ Tipo	RM Corpo	RM Neuro	RM Corpo	RM Neuro
Consulta	509	924	603	1718
Hospital Dia	118	106	133	94
Internamento	577	1831	501	1367
MCDT	20	40	32	56
Urgência	5	146	3	146
Totais	1229	3047	1272	3381
Total Anual	**4276**		**4653**	

Fonte: HSM

Considerando 250 dias de actividade anual, este equipamento efectua cerca de 18 exames por dia. Tendo em conta os destinatários, isto é, doentes internados e doentes em regime ambulatório, a actividade é planeada já que o número de exames efectuados para doentes oriundos da Urgência é irrelevante. Para a Consulta Externa e Hospital de Dia (ambulatório com internamento inferior a um dia), o planeamento é efectuado com prazos muito elevados, da ordem de semanas, na medida em que a procura supera largamente a capacidade instalada. Para o internamento o planeamento é efectuado tendo em vista uma resposta num prazo de dias, sempre inferior a uma semana de forma a não aumentar a

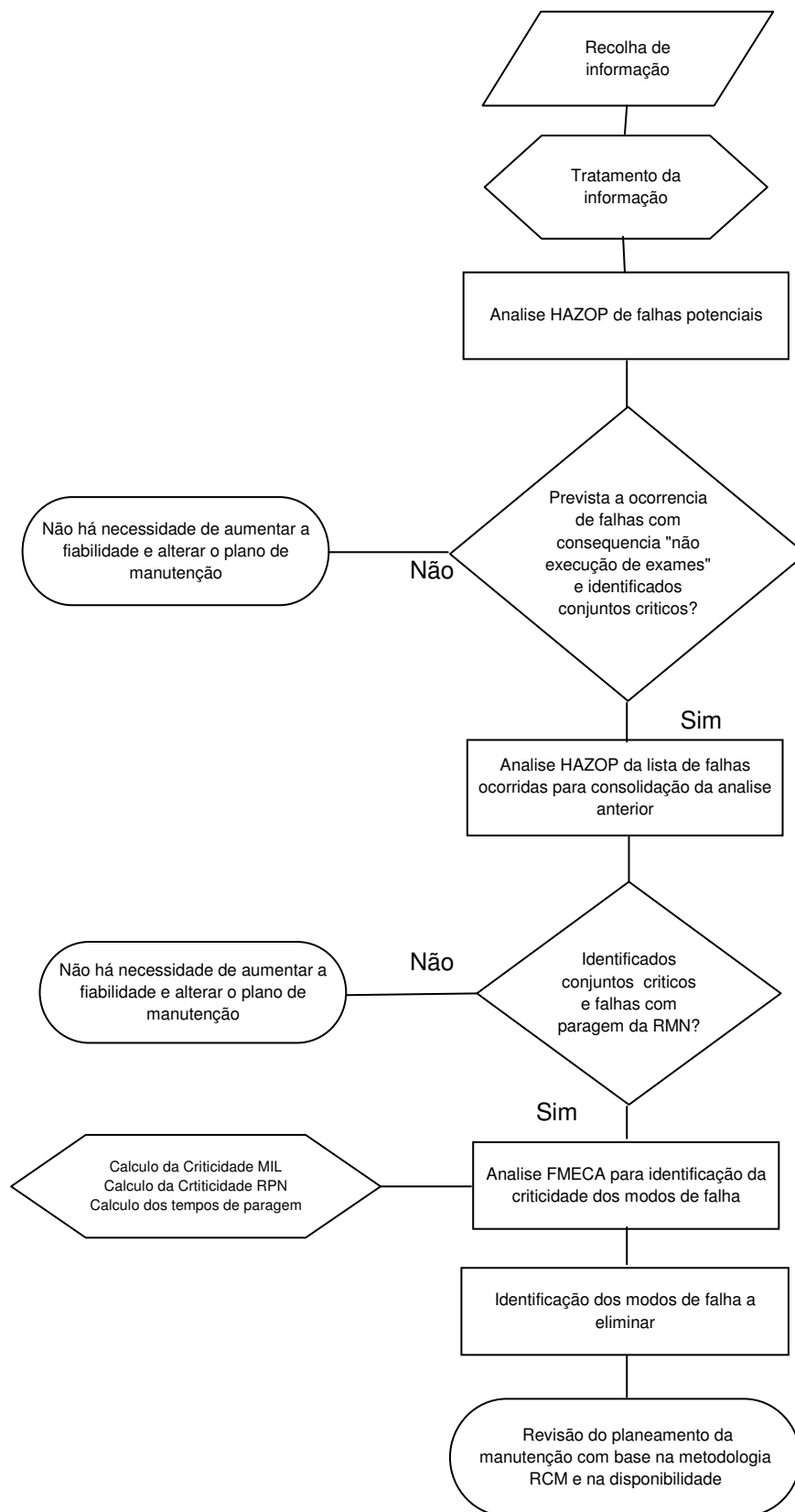



Figura 40: Fluxograma da metodologia adoptada no estudo da RMN

demora média do internamento. Estas condições de operação do equipamento devem ser consideradas no estabelecimento do seu plano de manutenção ou na avaliação da manutenção realizada. Sendo importante a disponibilidade operacional global na medida em que o Hospital necessita de satisfazer as necessidades dos utentes em RM, poderá aceitar-se uma disponibilidade instantânea menos exigente, suportada pelo planeamento, desde que dela não resultem prazos clinicamente inaceitáveis.

A metodologia adoptada neste estudo, Figura 40, teve o objectivo de apresentar os passos de análise habitualmente adoptados no RCM mas sem deixar de atender aos condicionalismos que o caso concreto da RMN impôs face aos dados do histórico da sua manutenção.

Foi elaborada uma análise HAZOP de falhas potenciais e uma análise HAZOP à lista de falhas efectivamente ocorridas, tendo sido possível avaliar qualitativamente o impacto da manutenção preventiva na redução dos conjuntos críticos.

Foi elaborada a analise FMECA e aplicada a metodologia RCM com identificação dos modos de falha a considerar na revisão do plano de manutenção.

5.2 - Obtenção da informação

Foi fornecida pela Philips uma lista de ocorrências relativas à manutenção correctiva e preventiva referente aos anos de 2004 e 2005.

No ANEXO B encontra-se o mapa da manutenção correctiva referente aos dois anos contendo datas e materiais aplicados. Neste mapa, em folha de Excel, as falhas foram organizadas por conjunto funcional da máquina.

No ANEXO C encontra-se o mapa semelhante ao anterior, mas referente à manutenção preventiva correspondente ao mesmo período.

A cada intervenção correctiva a Philips atribuiu um número de obra que identifica cada um dos 37 formulários elaborados para recolha da informação necessária e suficiente para a análise FMECA. Estes, preenchidos com o apoio da Philips, constituem o ANEXO D.

Toda a análise teve por base a decomposição do equipamento em conjuntos e subconjuntos, identificados no esquema resumido do equipamento, ver ANEXO A.

5.3 – Análise HAZOP

Foi elaborada uma *análise HAZOP teórica* com o apoio do especialista da Philips em RMN e identificadas potenciais falhas cuja possível ocorrência deve entender-se na ausência de manutenção. Foram identificados os conjuntos susceptíveis de falhas cuja consequência é a paragem do equipamento.

Sendo conhecidas as avarias ocorridas durante dois anos foi possível consolidar esta analise qualitativa com outra elaborada com base nas avarias efectivamente ocorridas e com o equipamento sujeito a manutenção preventiva. Foi elaborada uma análise HAZOP das 37 ocorrências com o objectivo de identificar conjuntos críticos no equipamento real, em operação e submetido a um programa de manutenção. Nesta análise foi considerado como atributo crítico a "execução de exames" e foram identificados cinco conjuntos, num total de oito, nos quais as falhas causaram a interrupção de execução de exames.

Efectuada a comparação entre os conjuntos problemáticos por falhas potenciais e os conjuntos problemáticos por falhas funcionais, estes são em menor número resultado da manutenção preventiva. Não perdendo de vista o objectivo final do trabalho, eliminar os modos de falha inaceitáveis, serão avaliadas as suas consequências pela análise FMECA.

5.4 – Análise FMECA

De acordo com a Norma Americana MIL-STD-1629A, a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA) é definida como um procedimento através do qual cada falha potencial é analizada para determinar como a falha é detectada e as acções a levar a cabo para a reparar. No caso em estudo, tratando-se de um equipamento em plena laboração, as falhas avaliadas são reais e já ocorridas.

Na análise FMECA elaborada foram utilizadas a metodologia quantitativa definida na Norma Americana MIL-STD-1629A e a metodologia qualitativa, Risk Priority Number (RPN). Na primeira entram os parâmetros taxa de avaria (λp), probabilidade condicional de ocorrência da falha (β), contribuição do modo de falha para a falha (α) e tempo de operação (t). Na segunda entram os parâmetros ocorrências (O), detectabilidade (D) e severidade (S).

Em ambos os casos é calculada a criticidade de acordo com as fórmulas que se apresentam.

5.4.1 - Definição de Critérios de acordo com a Norma Americana MIL-STD-1629A

As **taxas de avarias (λp)** referentes a cada modo de falha foram calculadas com base na lista de 37 falhas fornecida pela Philips. No período sobre o qual incidiu o estudo verifica-se que a quase totalidade dos modos de falha ocorreu apenas uma vez com excepção de um que ocorreu duas vezes, de três que ocorreram três vezes, de um que ocorreu quatro vezes e de um que ocorreu seis vezes.

O cálculo da taxa de avarias efectua-se utilizando a fórmula seguinte:

$$\lambda p = \frac{N^{o}\ de\ falhas}{Tempo\ \ de\ operação} \tag{8}$$

No entanto a sua utilização só é legítima se a ocorrência das avarias for independente e se forem identicamente distribuídas, isto é, se ocorrerem aleatoriamente sendo a taxa de avarias constante. Para verificar a tendência da taxa de avarias utilizou-se o teste de Laplace, o que só é possível para um número de ocorrências igual ou superior a quatro. Para as restantes situações considerou-se a taxa de avarias constante.

No teste de Laplace utilizou-se o nível de significância de 5% e o cálculo da estatística do teste limitado no tempo de acordo com a fórmula seguinte:

$$ET = \left(\sqrt{12 \times N}\right) \times \left(\frac{\sum_{i=1}^{N} T_i}{N \times T_0} - 0{,}5 \right) \tag{9}$$

Probabilidade condicional de ocorrência da falha (β) de acordo com a Norma Americana MIL-STD-1629A é representada por um valor do quadro seguinte resultante das possíveis perdas geradas pela falha em função do critério do analista.

Tabela 5 - Valores de β

Efeitos da falha	Valor de β
Perda actual	**β=**1,00
Perda provavel	0,10 < **β** < 1,00
Perda possivel	0 < **β** ≤0,10
Sem efeito	**β** =0

Contribuição do modo de falha para a falha (α) ainda de acordo com a Norma Americana MIL-STD-1629A é a probabilidade expressa por um número decimal correspondente à contribuição do modo de falha em causa para a falha a que se refere. Existindo diversos modos de falha a soma dos valores de α será igual à unidade. No presente trabalho estes valores foram atribuídos pela opinião do analista.

O cálculo do **tempo de operação (*t*)**no caso em estudo não é pacífico na medida em que o equipamento tem dez anos de vida e o período sobre o qual incide o estudo é de dois anos. Considerou-se o início dos tempos na manutenção preventiva realizada imediatamente antes de Janeiro de 2004 e que foi 3 de Outubro de 2003.

Criticidade, também conforme a mesma Norma, é calculada quantitativamente pela fórmula seguinte e refere-se a cada um dos modos de falha de um determinado item para uma determinada classificação de severidade

$$Cm = \beta * \alpha * \lambda p * t \qquad (10)$$

Considerou-se que para cada item a criticidade empírica é o somatório das criticidades dos respectivos modos de falha

$$Cr = \sum_{n-1}^{j} (Cm)n \qquad n = 1,2,3,\ldots j \qquad (11)$$

5.4.2 - Definição de Critérios de acordo com a metodologia RPN

A metodologia Risk Priority Number (RPN) é uma técnica utilizada para análise qualitativa do risco associado a potenciais problemas identificados durante uma análise FMEA a produtos ou processos tendo em vista identificar falhas a submeter a acções correctivas.

$$RPN = O \times S \times D \quad (12)$$

Em que:

O - Ocorrência que se expressa pela possibilidade da falha ocorrer, foi expressa numa escala de 1 a 6 de acordo com a taxa de avarias.

Tabela 6 - Valores de Ocorrência

Nivel	Taxa de avarias	Classif.
Frequente (A)	$4000/10^6$ dia < λ	5
Provável (B)	$3000/10^6$ dia < $\lambda \leq 4000/10^6$ dia	4
Ocasional (C)	$2000/10^6$ dia < $\lambda \leq 3000/10^6$ dia	3
Remota (D)	$1250/10^6$ dia < $\lambda \leq 2000/10^6$ dia	2
Improvável (E)	$\lambda \leq 1250/10^6$ dia	1

Foi considerada "Improvável" a ocorrência de uma falha num período superior a 820 dias e foi considerada "Frequente " a ocorrência de quatro ou mais falhas no mesmo período. Recorda-se que os 820 dias correspondem ao período do estudo.

S - Severidade de uma falha, resulta das consequências funcionais da falha e do tempo de paragem que a mesma origina. Foi classificada em 5 níveis à semelhança da Norma Americana MIL-STD-882D: marginal, aceitável, grave e muito grave. Nem de todas as falhas resultam paragens do equipamento e as paragens, quando ocorrem, terão consequências diferentes de acordo com o período de indisponibilidade que geram.

Para avaliação das consequências funcionais foi elaborada a Tabela 7. Não surgindo dúvidas quanto à interpretação dos itens classificados com 1, 3 e 4, importa esclarecer o conceito de "redução de eficiência".

Tabela 7 - Consequências funcionais da falha

Consequencias funcionais	Classificação
Paragem do equipamento	4
Redução de funcionalidades na execução de exames	3
Diminuicão de eficiência	2
Sem consequências funcionais	1

Neste item foram consideradas as falhas das quais resultaram incómodos para o operador, para o paciente ou perdas económicas no funcionamento da Ressonância. Deve considerar-se grave uma redução de funcionalidades e inaceitável a paragem do equipamento.

O tempo constante da Tabela 8 é o tempo de resolução da falha, independentemente das suas consequências.

Na definição típica de tempo de reparação (MTTR), este é o somatório de diversos tempos, nomeadamente o tempo de reparação propriamente dito, o tempo de aprovisionamento de materiais, o tempo associado aos processos administrativos, etc. Neste caso foi considerado o tempo total de paragem igual ao tempo de reparação já que na manutenção hospitalar e nos equipamentos críticos os "tempos mortos" associados à reparação estão minimizados.

Tabela 8 - Tempo de reparação

Tempo de resolução da falha	Classificação
Igual ou acima de 14 horas	5
Resolução até ás 14 horas	4
Resolução até ás 7 horas	3
Resolução até ás 4 horas	2
Resolução no periodo de 1 hora	1

Na Tabela 8 e tendo em conta a actividade da máquina considerou-se que a não execução de exames por um período de 1 hora seria irrelevante, que por um período acima de 7 horas teria consequências graves e por período superior a 14 horas seria inaceitável.

A partir das duas Tabelas anteriores foi elaborada a Tabela 9 – Tabela de severidade e adoptada uma escala de severidade de acordo com a Norma Americana MIL-STD-882D, conforme já referido.

Tabela 9 - Tabela de severidade

		Consequências funcionais			
		Sem consequências **1**	Redução de eficiencia **2**	Redução de funcionalidades **3**	Paragem do equipamento **4**
Tempo de resolução da falha	<1 horas **1**	1	2	3	4
	<4 horas **2**	2	4	6	8
	<7 horas **3**	3	6	9	12
	<14 horas **4**	4	8	12	16
	≥14 horas **5**	5	10	15	20

Na tabela 10 apresentam-se cinco níveis de severidade que se adaptam ao caso em estudo.

Tabela 10 - Níveis de severidade

Severidade	Critérios de classificação dos niveis de severidade	Escala
Marginal=V	Para valores de 1 a 3 da tabela de severidade	1
Aceitavel=IV	Para valores de 4 a 9 da tabela de severidade	2
Grave=III	Para valores de 10 a 12 da tabela de severidade	3
Muito Grave=II	Ocorrência de paragem do equipamento e tempo de resolução da falha até ás 14 horas ou redução de funcionalidades acima de 14 horas (15 e 16 da tabela)	4
Gravissimo=I	Ocorrência simultânea de paragem do equipamento e tempo de resolução da falha acima de 14 horas (20)	5

A paragem do equipamento mesmo que por um período inferior a uma hora e a falha sem consequências imediatas mas por um período superior a 7 horas não serão consideradas falhas marginais de categoria V, mas aceitáveis de categoria IV.

Porque a informação disponível na Philips se refere às folhas de obra, isto é, às falhas, foi possível calcular com relativa objectividade a severidade destas. Como se pode verificar no ANEXO I aos modos de falha 1, 10, 14 e 18, correspondem falhas com severidades diferentes na medida em que, tendo as mesmas consequências funcionais, o tempo de

paragem do equipamento foi diferente. Porque cada modo de falha ocorreu mais do que uma vez, nas circunstâncias em que o equipamento opera é legítimo e prudente atribuir ao modo de falha o valor mais desfavorável das falhas respectivas.

D - **Detectibilidade** da falha, apenas foram consideradas as hipóteses de possível detecção antes da ocorrência da falha e de não detecção.

5.4.3 - Quadros de analise FMECA

Identificados os subconjuntos do equipamento e as respectivas falhas e modos de falha e definidos os critérios de valorização dos diversos parâmetros intervenientes na análise FMECA, foram elaborados os quadros respectivos que constam do ANEXO G.

FMECA nº **Data:**
Sistema:
Conjunto: **Preparado por:**

Obra nº	Componente/ Sub conjunto	Função	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeitos da Falha		Criticidade / MIL-STD-1629A					Criticidade / RPN			
					Conjunto	Sistema	Taxa de Avarias λp	Probabilidade condicional de ocorrência da falha β	Contribuição do modo de falha para a falha α	Tempo de Operação t /dias	Criticidade $C = \beta * \alpha * \lambda p * t$	Ocorrência (O)	Severidade (S)	Detectabilidade (D)	Criticidade $C = O*S*D$

Figura 41- Quadro FMECA utilizado

Dos quadros FMECA obtiveram-se as criticidades dos modos de falha.

5.5 – Metodologia RCM

Conforme já referido em capítulo anterior o RCM visa optimizar a manutenção para as condições particulares de operação de cada equipamento.

O estudo iniciou-se pela análise HAZOP da RMN das identificando as prováveis falhas e modos de falha a ocorrerem nos diversos conjuntos que constituem o equipamento. Este procedimento é a base dum plano de manutenção que, neste caso, já existe e está em plena execução.

Estando disponíveis para estudo as falhas ocorridas durante dois anos, num total de 37 falhas constantes da lista fornecida pela Philips com identificação dos conjuntos e sub conjuntos a que se referem, foi elaborada uma análise HAZOP. Esta análise teve por objectivo avaliar qualitativamente os sub conjuntos críticos reduzindo o universo de estudo posterior para aplicação da análise FMECA.

Realizada esta analise ao equipamento, que está operacional há vários anos e sujeito a um plano de manutenção, foi comparada com a anterior e constatou-se que o seu desempenho é melhor que o previsto, facto explicável pela manutenção preventiva a que está submetido.

Face aos resultados obtidos, reduzido número de subconjuntos críticos, optou-se por continuar a tratar as 37 falhas.

Passou-se à elaboração da análise FMECA considerando aquelas falhas, agrupadas por conjunto da máquina, tendo sido elaborados seis quadros de análise e considerados os sub conjuntos como componente base. Perseguindo o objectivo do trabalho, centrar a manutenção na melhoria da fiabilidade, as acções a desenvolver nesse sentido devem restringir-se aquelas cuja eficácia é garantida. Para o efeito a sua aplicação deve recair nos modos de falha de elevada criticidade e identificados na Tabela 16 do capítulo seguinte. A elevada criticidade MIL significa reduzida fiabilidade que é necessário corrigir. A elevada criticidade RPN significa consequências gravosas do modo de falha, reflectidas na sua elevada severidade e nos elevados tempos de paragem, isto é, menor disponibilidade.

5.6 – Conclusões do capítulo

Este Capítulo iniciou-se com a apresentação da actividade da RMN em estudo e do fluxograma da metodologia adoptada, seguindo-se a descrição de cada uma das actividades enunciadas.
A quantidade de exames realizados, a importância daqueles na decisão clínica e o seu desempenho quanto às falhas ocorridas e suas consequências para o processo de tratamento dos doentes, conduziram à metodologia adoptada. Uma análise HAZOP, permitindo uma avaliação prévia de natureza qualitativa dos modos de falha, conduziu à identificação de componentes ou conjuntos de componentes críticos. Esta primeira avaliação permite uma visão global do desempenho do equipamento e é o ponto de partida para uma análise FMECA, avaliação da criticidade. Nesta metodologia foi dada foi dado relevo ao parâmetro severidade calculado pelas consequências funcionais da falha e pelo tempo de duração da falha. Por fim concluiu-se que as falhas a eliminar devem ser selecionadas com o objectivo de aumentar a fiabilidade e a disponibilidade.

Capitulo 6 - Aplicação da metodologia anterior à manutenção da RMN

Neste Capitulo foi efectuada a aplicação da metodologia descrita no capítulo anterior ao estudo da manutenção da RMN tendo em vista a eliminação das falhas criticas. Para tal prevê-se a revisão do plano de manutenção preventiva antecipando as intervenções á ocorrência das avarias e recomenda-se uma alteração ao projecto.

6.1 – Identificação das falhas

Foram identificadas as falhas ocorridas durante dois anos, num total de 37 e constam do ANEXO D.

Foi ainda efectuado um levantamento da manutenção preventiva ficando a saber-se que esta tem um ciclo de dois anos, durante os quais são efectuadas seis acções de manutenção. Estas acções estão completamente descritas no respectivo manual, com identificação dos materiais a substituir. As acções executadas, no total de seis, constam também do mapa respectivo, ANEXO C.

6.2 – Análise HAZOP

Foi elaborada uma análise HAZOP ao equipamento de RMN com o objectivo de identificar os conjuntos mais críticos quanto a possível ocorrência de falhas. Esta análise foi efectuada com o apoio do especialista da Philips e dela resultou o ANEXO E. As potenciais falhas com atributo "Execução de exames" e palavra-chave "Não", são enumeradas na Tabela 11.

Verificou-se que poderiam ocorrer falhas tendo como consequência a não execução de exames em sete conjuntos.

Esta abordagem clássica é o suporte da elaboração dum plano de manutenção cuja eficácia depende do conhecimento que o avaliador tem do projecto do equipamento em causa. Esta análise, que exige poucos recursos, também apenas fornece informação qualitativa das prováveis falhas.

No caso em estudo, um equipamento com dez anos de operação e estando disponível um histórico de dois anos, foi decidido elaborar uma análise HAZOP das falhas ocorridas e identificar os conjuntos que na realidade se mostram críticos. Na avaliação dos resultados é

indispensável ter em conta que o equipamento está submetido a um plano de manutenção preventiva.

Tabela 11 - Identificação dos conjuntos com potenciais falhas que provocam a não execução de exames

Hazop Nº	Conjunto	Atributo	Palavra chave	Causa	Consequência
2	A – Sistema de refrigeração	Execução de exames	Não	Paragem do compressor por desgaste mecanico	Ausência de arrefecimento do Magneto
3	B – Consola de sistema de informação	Execução de exames	Não	Avaria no planeamento, processamento, armazenamento e visualização de imagens.	Não obtenção de imagens.
5	D – Bastidor de Gradiente	Execução de exames	Não	Avaria nos amplificadores.	Não obtenção de imagens.
6	D – Bastidor de Gradiente	Execução de exames	Não	Avaria de fontes de alimentação de amplificadores.	Não obtenção de imagens.
7	D – Bastidor de Gradiente	Execução de exames	Não	Falha do sistema de ventilação.	Aumento de temperatura com falha do bastidor.
8	F – Bastidor de aquisição de dados	Execução de exames	Não	Avarias em placas de aquisição de dados e reconstrução de imagem.	Falha de construção de imagem.
9	H – Quadro electrico	Execução de exames	Não	Avaria de aparelhagem de protecção eléctrica.	Falha de alimentação eléctrica.
10	L – Mesa de suporte do doente	Execução de exames	Não	Avarias mecânicas com imobilização da mesa.	Não centragem do doente.
11	M – Conjunto do magneto	Execução de exames	Não	Avaria no sensor de dedos.	Actuação do sistema de segurança impedindo lesão do operador ou do doente

O ANEXO F, análise HAZOP ás 37 falhas, identificou consequências das falhas cujo atributo “Execução de exames” e palavra-chave “Não”, ocorreram em 9 falhas e afectaram cinco conjuntos, conforme consta da Tabela 9. Porque a análise é efectuada sobre avarias ocorridas foi possível identificar também os subconjuntos respectivos. Nota-se que o mesmo modo de falha apenas ocorreu uma vez com excepção do “Bastidor de aquisição de dados” em que a falha ocorreu três vezes.

Tabela 12 - Análise HAZOP - Conjuntos com avarias que provocam a não execução de exames

Nº Obra	Conjunto	Sub conjunto	Atributo	Palavra chave	Causa	Consequência
6626	A- Sistema de refrigeração	761-AB	Execução de exames	Não	Desgaste mecânico	Ausência de arrefecimento do Magneto
6618	B- Consola de sistema de informação	777-BHG	Execução de exames	Não	Disco rígido com blocos danificados	Impossibilidade de gravação original de imagens no disco rígido do computador
4006	D – Bastidor de Gradiente	763-DM1	Execução de exames	Não	Falha de componente electrónico (módulo de potência) para os gradientes	Impossibilidade de obtenção de imagem
2244 2371 6004A	F – Bastidor de aquisição de dados	764-FR	Execução de exames	Não	Envelhecimento dos tubos de amplificação RF requerendo reajuste do ganho	Interrupção na formação de imagens
2025	F – Bastidor de aquisição de dados	769-FI	Execução de exames	Não	Motor da unidade de ventilação queimado e filtro da entrada de ar colmatado	Fonte de alimentação queimada
4557	M – Conjunto do magneto	760-MVP	Execução de exames	Não	Desgaste mecânico do interruptor de protecção de dedos	Actuação do sistema de segurança impedindo o acidente no manuseamento da mesa do doente
2624	M – Conjunto do magneto	762-MG	Execução de exames	Não	Bobine de gradiente com falha de isolamento entre espiras	Ausência de imagem

Comparadas as duas análises HAZOP, a primeira previsional e a segunda real, constata-se que ocorreram avarias em 5 conjuntos apesar de terem sido previstas falhas potenciais em 7 conjuntos.

Tabela 13 - Comparação de análises HAZOP

Conjunto	HAZOP de potenciais falhas	HAZOP de falhas funcionais
A – Sistema de refrigeração	NEE	NEE
B – Consola do sistema de informação	NEE	NEE
D – Bastidor de gradiente	NEE	NEE
F – Bastidor de aquisição de dados	NEE	NEE
H – Quadro electrico	NEE	
L – Mesa de suporte do doente	NEE	
M – Conjunto do magneto	NEE	NEE
S - Diversos		

NEE – Não execução de exames

Esta diminuição de avarias, no quadro eléctrico e na mesa de suporte do doente, poderá atribuir-se a duas razoes:

- Á manutenção preventiva executada de acordo com o manual do fabricante;
- À robustez da mesa fabricada de acordo com um projecto que incorporou muita experiência já que se trata de um conjunto largamente utilizado na imagiologia em vários equipamentos, aspecto reforçado neste caso pela utilização de materiais amagnéticos.

Tabela 14 - Manutenção preventiva para a mesa de suporte do doente

Paragraph	Paragraph name:	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	time
7	Patient support							
7.1.1	Check the finger protection switch-plate and patient alarm	**S**	**S**	**S**	**S**	**S**	**S**	10
7.1.2	Check the manual decoupling device			**S**			**S**	5
7.1.3	Check the manual switch			**S**			**S**	5
7.1.4	Check the watch dog function incl. By-pass test	X			X			5
7.1.5	Check the hydraulic system	X			X			10
7.1.6	Check all moving cables for degradation	X			X			5
7.1.7	Check patient support lights	X			X			5
7.2	Exchanging the oil filter	every 4 years						15
7.3	Grease the four gear-wheels	every 4 years						15
7.4	Exchange oil	every 8 years						60

S - for safety reasons

As tarefas de manutenção preventiva da mesa são listadas na Tabela 14. Quanto ao quadro eléctrico, nele não ocorreram avarias, admite-se que pela sua qualidade e bom dimensionamento.

6.3 – Análise FMECA

A elaboração sistemática de análises FMECA exige recursos cuja utilização não pode comprometer a viabilidade económica dum serviço de manutenção. Nesse sentido, quando da existência de um elevado número de falhas, a análise HAZOP permite reduzir as análises FMECA, centrando-as sobre as falhas criticas identificadas por aquela. No caso em estudo constatou-se existir um reduzido número de modos de falha avaliados qualitativamente como problemáticos pelo que foi decidido continuar o estudo sobre a totalidade das falhas procedendo à avaliação quantitativa da sua criticidade.

A análise FMECA consta dos mapas do ANEXO G. Conforme já referido no capítulo anterior, esta análise visa a avaliação da criticidade dos modos de falha sendo para o efeito necessário calcular previamente a severidade de cada falha, o que foi efectuado através do mapa de cálculo da severidade, ANEXO I. Os restantes parâmetros foram calculados de

acordo com o descrito no capitulo anterior, sublinhando-se o ANEXO H referente á taxa de avarias.

Em resumo foram encontrados 20 modos de falha constantes da Tabela 15 com as criticidades nela indicadas, calculadas de acordo com a Norma MIL-STD-1624A e de acordo com a metodologia RPN.

Tabela 15 - Criticidade dos modos de falha

Modo de falha	Obra nº	Componente/Sub conjunto	Modo de Falha	Criticidade MIL	Criticidade RPN	Consequencias	Tempo de paragem
1	1660 / 2354 / 5579	761-AA Cryo Compressor	Compressor de hélio fora de serviço	0,60	16		
2	6626	761-AB Cold Head	Paragem do êmbolo de compressão de hélio no Magneto	1,00	8	PE	12,00
3	3036B	775 - BEG Fans	Uma das ventoínhas não funciona	0,10	2		
4	3036 / 5284 / 6893	775 - BEO Optical Disk Drive	Impossibilidade de gravação de imagem nos discos ópticos	0,30	8		
5	2151	775 -BM Operator Console Display	Ecran verde	0,20	4		
6	2705 / 3036A / 4401 / 6004	777 - BHG Computer Gyroscan	Dificuldade em navegar na aplicação de software	0,20	10		
7	6618	777 - BHG Computer Gyroscan	Impossibilidade de gravação original de imagens no disco rígido	0,30	4	PE	2,25
8	2080	777 - BHG Computer Gyroscan	Impossibilidade de comunicação com estações de trabalho externas	0,03	2		
9	4006	763 - DM1 Gradient Amplifier Cabinet	Gradientes sem alimentação	1,00	4	PE	2,00
10	2244 / 2371 / 6004A	764 -FR RF Power Amplifier	Interrupção da cadeia de RF	3,00	24	PE	2,67
11	2025	769-FI Mains Inlet Unit	Bastidor sem alimentação eléctrica	1,00	10	PE	17,92
12	3168 / 3277 / 4429 / 5104 / 6002 / 6815	760-MA Magnet	Nível de hélio liquido no interior do magneto baixo	0,30	5		
13	3830	760-MB Magnet Monitoring Unit	Alarme de falha de bateria na unidade de monitorização do magneto	0,05	1		
14	2744 / 3561/ 3752	760-MC PICU Front and Rear	Tubo de ligação ao sensor partido	0,90	16		
15	4557	760-MVP Finger Protection	Falha de funcionamento do interruptor de protecção de dedos	1,00	4	PE	0,50
16	2624	762-MG Gradient Coil	Ausência de imagem	1,00	10	PE	100,92
17	6241	781-MSC Pat. Int.	Sensor não faz leituras	0,30	4		
18	2282 / 6757	765-SR Head Coil	Sistema não detecta a antena de crânio	1,40	12		
19	6017	780-SR Receive Coils	Por falha electronica o sistema não detecta a antena de coluna torácica / lombar	0,15	6		
20	1142	780-SR Receive Coils	Deficiencia de ligação o sistema não detecta a antena de coluna torácica / lombar	0,15	6		

PE - Paragem do equipamento

6.4 – Análise de risco

Na tabela de criticidade dos modos de falha são identificadas as falhas de maior risco e as falhas que geram menor disponibilidade.

A selecção das falhas cuja ocorrência deve ser eliminada deverá efectuar-se tendo em conta as consequências concretas das mesmas em termos de *fiabilidade e de disponibilidade*. A paragem do equipamento é uma consequência grave duma falha porque impede temporariamente o diagnóstico de patologias graves, nomeadamente do foro oncológico onde o aumento da espera pode ser clinicamente inaceitável. A redução do risco da sua ocorrência que implica o aumento da sua fiabilidade e a redução dos tempos de paragem, isto é, o aumento da sua disponibilidade, caracterizam neste equipamento de diagnóstico a gravidade das consequências de falha e a eventual necessidade da sua eliminação.

Por outro lado, face aos elevados custos da manutenção, as falhas a eliminar serão apenas aquelas cujas consequências são inaceitáveis para o processo de produção em causa.

Nestas condições na Tabela 16, modos de falha com paragem do equipamento, foram seleccionados os números 10, 11 e 16 para análise e correcção. O número 10 porque tem o valor de criticidade mais elevado quer calculado pela Norma MIL, quer pela RPN. Os números 11 e 16, porque originando paragem do equipamento, têm uma criticidade ainda elevada e têm os maiores tempos de reparação.

Tabela 16 - Lista dos modos de falha com paragem do equipamento

Modo de falha	Obra nº	Componente/Sub conjunto	Modo de Falha	Criticidade MIL	Criticidade RPN	Consequencias	Tempo de paragem
10	2244 / 2371 / 6004A	764 -FR RF Power Amplifier	Interrupção da cadeia de RF	3,00	24	PE	2,67
11	2025	769-FI Mains Inlet Unit	Bastidor sem alimentação eléctrica	1,00	10	PE	17,92
16	2624	762-MG Gradient Coil	Ausência de imagem	1,00	10	PE	100,92
2	6626	761-AB Cold Head	Paragem do êmbolo de compressão de hélio no Magneto	1,00	8	PE	12,00
15	4557	760-MVP Finger Protection	Falha de funcionamento do interruptor de protecção de dedos	1,00	4	PE	0,50
9	4006	763 - DM1 Gradient Amplifier Cabinet	Gradientes sem alimentação	1,00	4	PE	2,00
7	6618	777 - BHG Computer Gyroscan	Impossibilidade de gravação original de imagens no disco rígido	0,30	4	PE	2,25

6.5 – Revisão do planeamento da manutenção com base na metodologia RCM e na disponibilidade

Na tabela 16 foi identificado o **modo de falha 10**, “Interrupção da cadeia de RF”, com três ocorrências, obras números 2244, 2371 e 6004A, durante o período em análise. Este modo

de falha, que ocorreu no subconjunto 764-FR, RF Power Amplifier, teve como causa o envelhecimento dos tubos de amplificação. Este envelhecimento depende da actividade do equipamento e o reajuste do ganho do amplificador é a acção que constitui a solução mais vulgar para esta avaria. Esgotada a possibilidade de aumento de ganho por novos reajustes deverá proceder-se à sua substituição.

O cálculo da frequência de realização das acções de manutenção preventiva sobre este subconjunto será realizado através do cálculo do MTBF respectivo. Para o efeito foi utilizado o número de avarias ocorridas, que neste caso foram três, consideradas independentes e identicamente distribuídas.

$$MTBF = Tempo\ de\ funcionamento / N^{o}\ de\ avarias \qquad (13)$$

Para um número de avarias igual ou superior a quatro aplicar-se-ia o teste de Laplace para determinar a tendência das avarias: decrescente, constante ou crescente.

Para este subconjunto o MTBF calculado foi de

$$MTBF = 820/3 = 273\ dias \qquad (14)$$

Sabendo-se que o ganho do amplificador decai em função do seu nível de utilização e que este equipamento de RMN tem uma actividade intensa (Tabela 4), a frequência da avaliação e ajuste do ganho do amplificador deve fazer-se com uma periodicidade que tenha como limite superior 273 dias. È importante notar que, de acordo com o manual de manutenção, a periodicidade das acções de manutenção preventiva é já de 240 dias. Em face do exposto decidiu-se investigar a manutenção efectuada neste subconjunto.

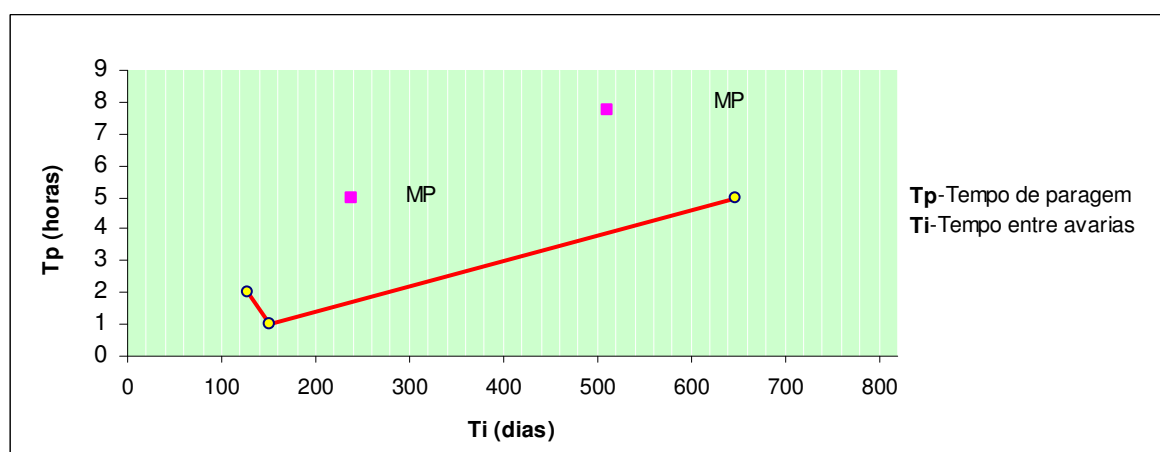



Figura 42 - Distribuição das avarias no amplificador de RF

Conforme Figura 42 e Tabela 17 verificou-se a ocorrência de duas avarias muito próximas, com 24 dias de intervalo (T2-T1), e uma terceira distanciada de 496 dias (T5-T2).

Deduziu-se que terá sido efectuada a substituição do tubo amplificador, não sendo por isso legítimo o cálculo do seu MTBF com base nas três avarias.

A Philips confirmou que na manutenção preventiva de 28-05-2004, passados 87 dias da avaria anterior (T3-T2), foi efectuada a substituição do tubo amplificador tendo a próxima avaria ocorrido passados 409 dias (T5-T3). Entretanto, passados 273 dias (T4-T3) após a substituição foi efectuada uma manutenção preventiva que incluiu o reajuste do ganho do tubo amplificador. Sabe-se que a vida média destes tubos nas condições de trabalho deste equipamento é da ordem dos 3 anos, sendo crítico o reajuste do ganho. Este deve ser efectuado preventivamente e antes de ocasionar uma paragem intempestiva. Na tabela seguinte figuram todas as intervenções, preventivas e correctivas e incluindo a própria substituição, o que indica a existência de um total de 5 intervenções. No entanto, para o cálculo do MTBF só é legitimo utilizar o período após a substituição concluindo-se que o período médio de reajuste do ganho deve ser de 205 dias (409/2), inferior aos 240 dias recomendados no manual de manutenção. Por outro lado, a proximidade das avarias apesar dos reajustes de ganho efectuados, resulta da substituição tardia do amplificador.

Figura 43 - Amplificador de RF
Cedida pela Philips Sistemas Médicos

Tabela 17 - Tabela de manutenções do amplificador de RF

	Obra	Ti	Tp	T(i+1)-Ti
T1	2244	127	2	
T2	2371	151	1	24
T3	MP	238	5	87
T4	MP	511	7,75	273
T5	6004A	647	5	136
T0		820	0	173

O **modo de falha 16, "**Ausência de imagem" referente à obra 2624 e ocorrida no dia 180 do período em análise no subconjunto 762-MG, Gradient Coil, teve como consequência a substituição da bobine de gradiente cujo custo é da ordem dos 16.000€. O manual de manutenção prevê uma acção de manutenção por cada ciclo de dois anos e realizada no quarto quadrimestre de cada ciclo e que consta do reaperto dos contactos eléctricos da bobine. No entanto, apesar da execução da manutenção preventiva 545 dias antes da avaria ocorrer, a bobine avariou por uma causa diferente daquela que a manutenção pretendia evitar, isto é, não ocorreu por falha no aperto dos contactos da bobine mas sim por defeito no interior da bobine no seu isolamento eléctrico entre espiras.

Tabela 18 - Tabela de manutenções da bobine de gradiente

	Obra	Ti	Tp	T(i+1)-Ti
T1	MP	-365		
T2	2624	180	100	
T0		820	0	640
T3	MP	910	0	730

Após a avaria, nos 640 dias restantes do período de análise, não ocorreu qualquer anomalia no subconjunto em causa como se pode verificar na Tabela 17. Também foi averiguado que a manutenção preventiva seguinte foi efectuada aos 910 dias não tendo também durante aquele período ocorrido qualquer falha.

Com a informação disponível e porque apenas se conhece o comportamento de uma bobine não é possível concluir sobre a necessidade de eventuais alterações ao plano de manutenção. Foi solicitada informação á Philips sobre o comportamento deste componente, que após uma pesquisa na base de dados da fábrica informou que durante os dois anos a que se refere o presente estudo e em mais de um milhar de equipamentos em funcionamento em todo o mundo apenas foram encontradas 3 avarias idênticas. Uma delas ocorreu numa Ressonância de 1,5 Tesla instalada no Fukuoka University Hospital na cidade de Fukuoka no Japão, no ano de 2005 e foi causada por uma deficiente soldadura no interior duma bobine no processo de fabrico. Outra ocorreu numa Ressonância de 3 Tesla instalada no Shanghai Renji Hospital na cidade de Shangai na China, também no ano de 2005. O Fabricante concluiu ter ocorrido uma falha no isolamento eléctrico entre espiras da bobine, mas devido à enorme extensão dos danos nos condutores não foi possível determinar a causa original da avaria. A terceira avaria conhecida e ocorrida no interior da

bobine de gradiente e atribuída a defeito de fabrico, apesar de se manifestar após longo período de funcionamento, ocorreu no equipamento em estudo, no ano de 2004. Este componente de acordo com o Fabricante deve ter um MTBF igual ao período de vida do equipamento e que é da ordem dos 10 anos.
Assim, tendo em conta que a avaria ocorrida não pode ser evitada por qualquer acção de manutenção preventiva, não se propõe alteração do plano de manutenção. No entanto estas avarias foram tidas em conta no isolamento de futuras bobines.

O **modo de falha 11** no subconjunto 769-FI Mains Inlet Unit, referente à obra 2025, ocorreu no dia 95 do período em análise e teve como causa a fonte de alimentação queimada por avaria do ventilador e colmatação do filtro de admissão de ar. O efeito foi a interrupção na execução de exames por falha de alimentação eléctrica ao bastidor de aquisição de dados. O manual de manutenção recomenda a limpeza de filtros nas operações de manutenção preventiva, isto é, todos os 4 meses. Recomenda ainda a substituição dos filtros e dos ventiladores todos os 8 meses.

Tabela 19 - Tabela de manutenções da unidade de alimentação do bastidor de aquisição de dados

	Obra	Ti	Tp	T(i+1)-Ti
T1	2025	95	17,92	
T2	MP	126	5,5	31
T3	MP	238	5	112
T4	MP	364	6	126
T5	MP	511	7,75	147
T6	MP	644	6	133
T7	MP	735	9	91
T0		820	0	85

Constata-se que nos restantes 725 dias do período em análise (820-95), não ocorreu nenhuma avaria na unidade de alimentação, apenas foram realizadas as acções de manutenção preventiva.

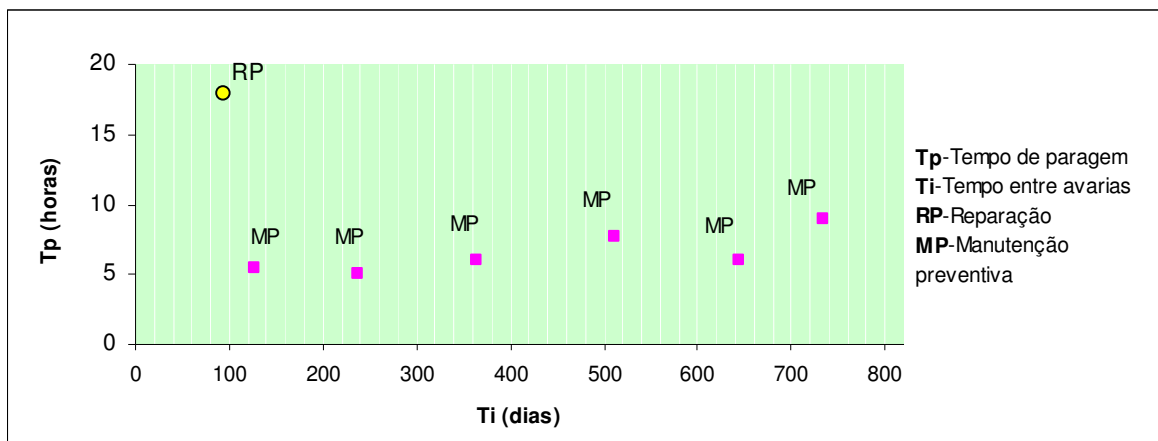



Figura 44 - Distribuição das avarias da alimentação do bastidor de aquisição de dados

Admite-se que a avaria ocorrida resultou de falha da manutenção, de poluição anormal do ar ambiente ou de deficiência do ventilador pelo que não se recomenda alteração do plano de manutenção.

No entanto sugere-se que o equipamento seja dotado de um alarme por falha de ventilação. Este alarme, que poderá ter como sensor um termistor, detectará a redução do caudal de ar de arrefecimento por colmatação do filtro ou por falha do ventilador.

Em resumo, relativamente ás três falhas seleccionadas propõem-se as acções constantes da tabela seguinte.

Tabela 20 - Acções de correcção

Conjunto	Subconjunto/ componente	Tarefa proposta	Frequencia actual	Frequencia proposta
NT-Data Acquisition Cabinet	764 -FR RF Power Amplifier	Reajuste do ganho do tubo amplificador	Cada 240 dias	Cada 205 dias
Magnet Assembly	762-MG Gradient Coil	Reaperto da ligação electrica da bobine de gradiente	Cada 730 dias	Cada 730 dias
NT-Data Acquisition Cabinet	769-FI Mains Inlet Unit	Revisão do projecto	_	_

6.7 – Conclusões do capitulo

Foram identificadas 37 falhas durante o período de 820 dias estando o equipamento submetido a um plano de manutenção que prevê um ciclo de 6 intervenções em 24 meses.

As falhas ocorridas têm consequências diversas sendo estas menos criticas que as esperadas e identificadas por uma análise HAZOP, concluindo-se que a manutenção melhorou o desempenho do equipamento.

Apesar disso pretendeu-se ainda aumentar a fiabilidade e a disponibilidade através da manutenção, para o que foram realizadas análises FMECA e identificados 7 modos de falha que tiveram como consequência a paragem do equipamento.

Com base no critério dos maiores valores de criticidade MIL e RPN e maiores tempos de paragem, foram seleccionadas as falhas a corrigir. Para redução da probabilidade de ocorrência destas falhas recomendou-se o aumento da frequência das acções de manutenção para o modo de falha 10, com reajuste do ganho do amplificador. Para o modo de falha 16 não se recomendou alteração ao plano de manutenção já que a avaria ocorreu no interior da bobine de gradiente não sendo possível qualquer acção preventiva. Por outro lado, esta avaria atribuída a um defeito de fabrico, tem uma probabilidade de ocorrência extremamente remota.

Para o modo de falha 11, que ocorreu uma vez e por causa não completamente identificada, face ao já apertado regime de manutenção a que está sujeita a unidade de alimentação do bastidor de aquisição de dados, foi decidido não propor alteração do seu plano de manutenção mas propor alteração ao projecto do equipamento dotando-o de um alarme contra falhas de ventilação.

Capítulo 7 – Conclusões gerais e perspectivas de trabalho futuro

O presente trabalho sobre estratégias de manutenção hospitalar em geral e, em particular, sobre a RMN, transporta duas ideias fundamentais:

- A organização hospital contem uma vertente tecnológica altamente diversificada e diferenciada que no actual contexto económico e social exige uma **gestão da manutenção** mais eficiente que a actual;
- O equipamento médico-cirúrgico deve caracterizar-se por elevados índices de **fiabilidade, disponibilidade**, manutibilidade fortemente condicionadora da disponibilidade e elevada segurança operacional, o que no caso concreto em estudo, a RMN, acontece.

Na **gestão da manutenção** depois de uma descrição do universo das tecnologias adoptadas quer ao nível das instalações quer ao nível dos equipamentos, decorre a necessidade de um modelo de gestão da manutenção capaz de atender à diversidade e ao nível tecnológico. Os recursos devem ser rigorosamente adequados a cada situação, isto é, elevadas competências com elevados custos serão utilizados para novas tecnologias, com recurso aos fabricantes, enquanto que recursos tradicionais de baixo custo serão utilizados nas tecnologias de uso corrente e de renovação limitada.

Por outro lado, determinados actos clínicos exigem um conjunto de recursos cuja manutenção será considerada no seu conjunto visando a eficiência do processo e não apenas de cada equipamento individualmente.

Para além do enquadramento global tendo em vista a eficácia e a eficiência na gestão da manutenção, é indispensável não perder de vista a importância do estudo de cada falha, a respectiva análise de risco e consequências da mesma para o processo de prestação de cuidados de saúde respectivo. Surge assim a necessidade de garantir nos equipamentos e nas instalações críticos elevados níveis de **fiabilidade e disponibilidade**, o que nos conduziu a uma metodologia de manutenção centrada na fiabilidade (RCM).

Assim, os gestores da manutenção devem estar atentos à importância crescente do Custo do Ciclo de Vida, em particular dos equipamentos, na prestação de cuidados de saúde. A esta questão têm respondido os fabricantes com equipamentos sucessivamente mais fiáveis, cabendo à manutenção um papel complementar na resolução de eventuais falhas com vista à redução dos tempos de paragem para reparação e garantia de elevados níveis de disponibilidade.

Para a realização do estudo da manutenção de equipamento hospitalar recorrendo a uma metodologia nova foi seleccionada a RMN, devido à sua importância estratégica e custo.

Do estudo da manutenção da Ressonância Magnética, concluímos que o equipamento apresentou um limitado número de avarias no período do estudo, com consequências pouco relevantes. A obtenção dos maiores valores de criticidade resultou do estabelecimento de critérios de avaliação muito rigorosos, sendo nestas condições sugerida uma alteração ao plano de manutenção, uma ao projecto do equipamento e para a terceira avaria seleccionada, com remota probabilidade de ocorrência, não foi proposta qualquer alteração ao plano de manutenção por impossibilidade de, dessa forma, evitar a varia.

Esta conclusão sugere a hipótese de um estudo, eventualmente com o objectivo de reduzir a manutenção preventiva, adequando o plano de manutenção a níveis de risco mais elevados mas, porventura aceitáveis. A habitual dificuldade na obtenção de dados para realização de estudos desta natureza poderá ser ultrapassada a curto prazo com a conclusão da instalação no SIE do HSM de uma aplicação informática para gestão da manutenção. Acredita-se que esta ferramenta, instalada no maior hospital do País e um dos maiores da Europa, permitirá a realização deste e de muitos outros estudos com interesse académico, mas sobretudo com interesse para o Hospital e para a manutenção hospitalar.

Referências

ASSIS, Rui – *Apoio à Decisão em Gestão da Manutenção*. Lisboa, Lidel – edições técnicas, lda, 2004.

CAMPBELL, John Dixon – *Outsourcing in maintenance management*. Journal of Quality in Maintenance Engineering, Toronto, Nº3, 1995, p 18-24.

DHILLON, B.S. – *Engineering Maintenance: a modern approach*. Boca Raton, Florida, CRC Press, 2002.

FERREIRA, Luis Andrade – *Uma Introdução à Manutenção*. Porto, Publindústria, Edições Técnicas, 1998.

FRAGATA, José – *Risco clínico, complexidade e perfomance*. Coimbra, Edições Almedina, 2006

FRAGATA, José;MARTINS, Luis – *O Erro em Medicina*. Coimbra, Edições Almedina, 2005.

GERAERDS,W.M.J. – *The EUT maintenance model*. «International Journal of Production Economics», Elsevier, Nº24, 1992, p 209-216.

HORNAK, Joseph P. – *The Basics of MRI*. Henrietta – New York, Interactive Learning Software / bmri@cis.rit.edu, Fevereiro 2007

LATINO, Ken – *Utilizing Advanced Statistical Reliability Methods*. Daliville – USA, Practical Reliability Group, 2003.

LEVERY, Michael – *Outsourcing maintenance: a question of strategy*. Engineering Management Journal, United Kingdom, Feb 1998, p 34-40.

MALLARD, John R - *Magnetic resonance imaging-the Aberdeen perspective on developments in the early years*. «Physics in Medicine and Biology». Aberdeen, Nº51, 2006, p 45 – 60.

MATHER, Daryl – *The maintenance Scorecard: creating strategic advantage*. NewYork, Industrial Press,Inc., 2005.

PEREIRA, Nuno Ricardo T. – *Aplicações Clinicas em Imagem por Ressonância Magnética*. Projecto e Estágio em Engenharia Física, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, 2000

PHILIPS Medical Systems – *Basic Principles of MR Imaging*.

PHILIPS Medical Systems – *Ressonância Magnética - Aplicações Clínicas*

RAUSAND, Marvin – *System Reliability Theory*. Wiley, 2004

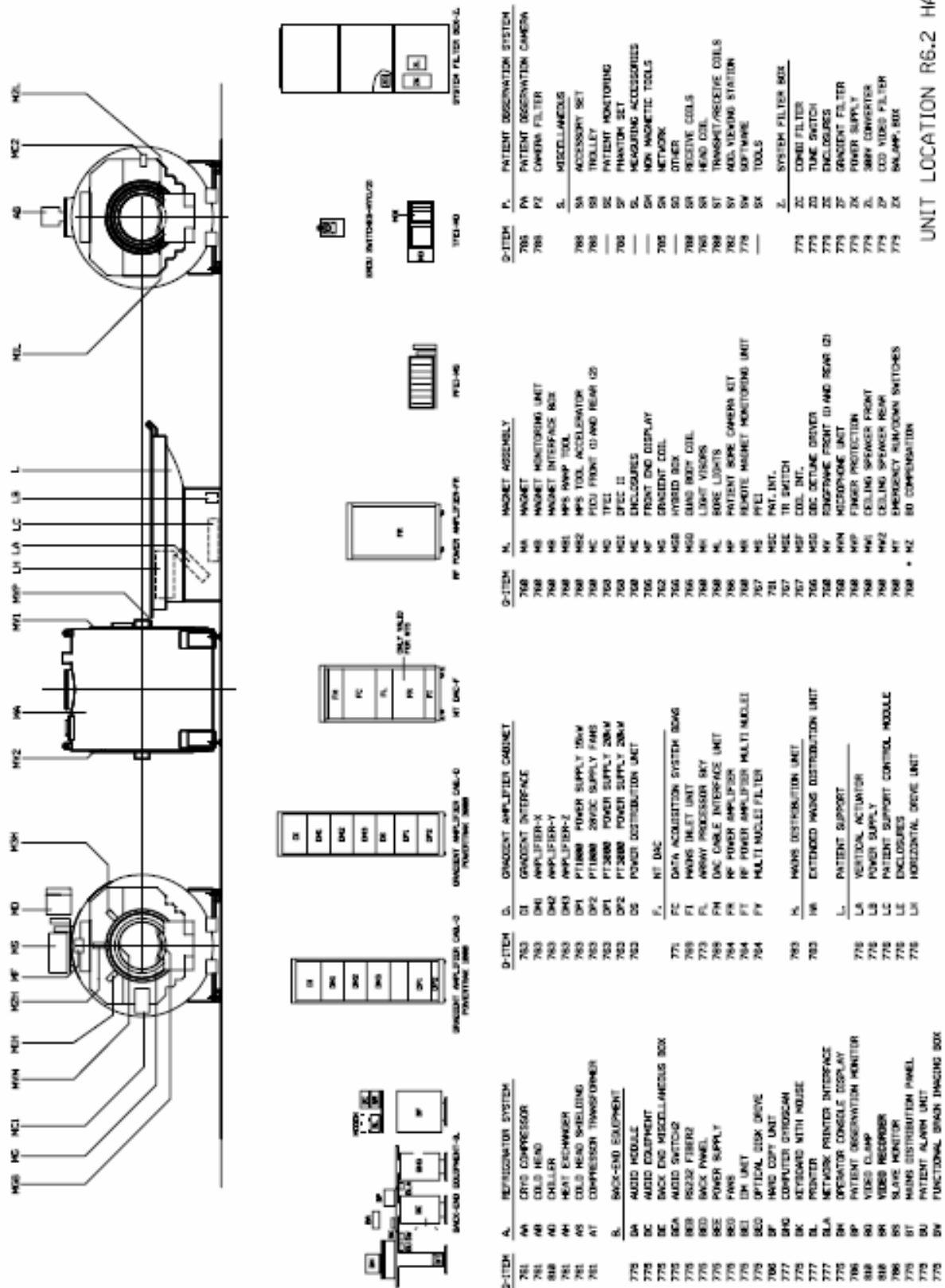
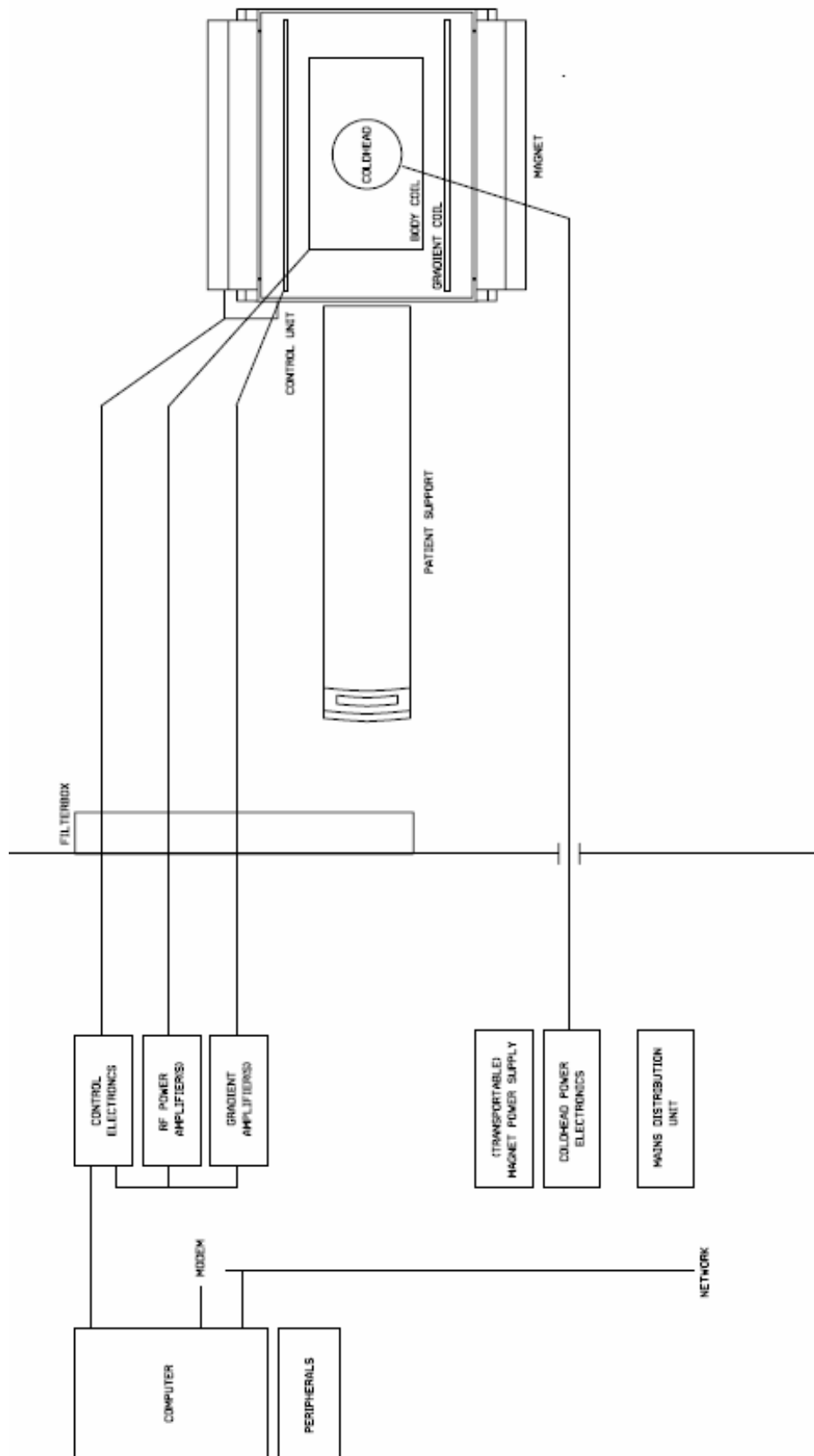
RS – *Examining Risk Priority Numbers in FMEA.«*Reliability EDGE», Tucson, Vol. 4 Nº1, 2003, p 14 – 16.

SILVA, Nuno Oliveira; RESENDE, Paulo; FERREIRA, Luis Andrade – *Aplicação Industrial do RCM: Metodologia e Análise Critica*. «Manutenção», Porto, Nº 72, 2002, p 10-15.

SHERWIN, David – *A review of overall models for maintenance management.* Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 6 Nº3, 2000, pp 138-164

SMTH, Ricky – *Risk Assessement for M.aintenance. Life Cycle Egineering, Inc.*

UNIT LOCATION R6.2 HARDWARE

MAGNET
COLDHEAD
BODY COIL
GRADIENT COIL
CONTROL UNIT
PATIENT SUPPORT
FILTERBOX
CONTROL ELECTRONICS
RF POWER AMPLIFIER(S)
GRADIENT AMPLIFIER(S)
(TRANSPORTABLE) MAGNET POWER SUPPLY
COLDHEAD POWER ELECTRONICS
MAINS DISTRIBUTION UNIT
MODEM
NETWORK
COMPUTER
PERIPHERALS

ANEXO - B

Philips Portuguesa S.A

Obra#	Conj.	Sub conj.	Descrição da avaria	Chamada		Material			Inicio trabalho			Fim do Trabalho			Tempo		Fecho Obra	Ti
				Data	Hora	Número	Descrição	Preço	Data	In_viag	In_trab	Data	Fim_trab	Fim_viag	Trab	Viag		(dias)
LIS.01660	A	761-AA	Compressor não arranca.	12/01/2004	16:00				14/01/2004	17:00	17:30	14/01/2004	17:45	18:15	0,01	1:00	19/01/2004	**101**
LIS.02354	A	761-AA	Compressor do helio não liga.	01/03/2004	8:00				01/03/2004	15:00	15:30	01/03/2004	16:00	16:30	0,50	1,00	05/03/2004	**150**
LIS.05579	A	761-AA	Compressor do helio desligado.	16/05/2005	14:23				16/05/2005	14:30	15:00	17/05/2005	14:30	15:00	7,50	3,50	20/05/2005	**591**
LIS.06626	A	761-AB	Consumo excessivo de helio.	10/10/2005	15:36	452215011821	COLD HEAD SC.8C (NT)	17.186,88 €	13/10/2005	18:30	19:00	14/10/2005	2:00	02:30	12,00	2,00	20/11/2005	**738**
LIS.06626	A	761-AB				452213074033	ABSORVER	60,00 €										**0**
LIS.02080	B	777-BHG	Não comunica com a Easy vision.	16/01/2004	8:00				16/01/2004	11:50	12:10	16/01/2004	12:45	13:10	0,58	0,75	26/01/2004	**105**
LIS.02151	B	775-BM	Monitor verde.	28/01/2004	12:00	452213187781	VIDEO CABLE	925,21 €	08/03/2004	9:00	00:00	08/03/2004	11:00	00:00	2,00	0,00	12/03/2004	**117**
LIS.02705	B	777-BHG	Substituicão do rato.	14/04/2004	12:17	452213137301	MOUSE 3 BUTTON	217,16 €	19/04/2004	11:20	11:40	19/04/2004	11:55	12:15	0,25	0,67	19/04/2004	**194**
LIS.03036	B	775-BEO	Problemas com o disco optico	29/05/2004	16:08	452209003381	OPTICAL DISK DRIVE 2.6GB	4.656,62 €	16/06/2004		16:15	16/06/2004	17:00	17:30	0,75	0,50	18/06/2004	**239**
LIS.03036A	B	777-BHG	Problemas com o rato do computador	28/05/2004	16:08	452213137301	MOUSE 3 BUTTON	217,16 €	16/06/2004	15:00	15:00	16/06/2004	15:30	15:30	0,50		18/06/2004	**238**
LIS.03036B	B	775-BEG	Problemas com ventiladores da consola.	28/05/2004	16:08	282203101235	VENTILADOR	70,27 €	16/06/2004	15:00	15:30	16/06/2004	16:15		0,75	0,50	18/06/2004	**238**
LIS.04401	B	777-BHG	Problemas com o rato.	03/12/2004	15:13	452213137301	MOUSE 3 BUTTON	217,16 €	06/12/2004	15:45	16:15	06/12/2004	17:00	17:00	0,75	0,50	10/12/2004	**427**
LIS.05284	B	775-BEO	Problemas com o leitor de discos opticos.	05/04/2005	11:47				05/04/2005	13:00	13:30	05/04/2005	18:10	18:40	4,67	1,00	19/04/2005	**550**
LIS.06004	B	777-BHG	Problemas com o rato.	11/07/2005	16:00	452213137301	MOUSE 3 BUTTON	217,16 €	12/07/2005	11:00	11:30	12/07/2005	12:00	12:00	0,50	0,00	11/08/2005	**647**
LIS.06618	B	777-BHG	Problemas com o disco de dados.	10/10/2005	8:00				10/10/2005	09:30	10:30	10/10/2005	12:45	13:15	2,25	1,50	21/10/2005	**738**
LIS.06893	B	775-BEO	Disco óptico avariado	14/11/2005	16:06	452209003381	OPTICAL DISK DRIVE 2.6GB	4.656,62 €	16/11/2005	16:00	16:00	16/11/2005	16:30	17:00	0,50	0,50	20/11/2005	**773**
LIS.04006	D	763-DM1	Problemas nos gradientes.	11/10/2004	8:00	452215013411	POWER MODULE 75 ARMS	3.867,78 €	12/10/2004	12:00	12:30	12/10/2004	14:30	14:30	2,00	0,50	18/11/2004	**374**
LIS.02025	F	769-FI	Problemas na fonte de alimentacão.	06/01/2004	8:00	271217100117	FILTER FEEDTHROUGH	192,70 €	08/01/2004	10:00	10:15	09/01/2004	14:25	14:25	17,92	2,25	26/02/2004	**95**
LIS.02025	F	769-FI				941501920002	POWER SUPPLY (5V-20A)	701,86 €										**0**
LIS.02025	F	769-FI				282203101235	VENTILADOR	70,27 €										**0**
LIS.02244	F	764-FR	Sistema bloqueia com algumas sequencias.	07/02/2004	8:00				07/02/2004	10:00	10:30	07/02/2004	12:30	13:00	2,00	1,00	12/02/2004	**127**
LIS.02371	F	764-FR	Os turbos spinecos so vão ate aos 20%.	02/03/2004	8:00				02/03/2004	10:00	10:30	02/03/2004	11:30	12:00	1,00	1,00	19/03/2004	**151**
LIS.06004A	F	764-FR	Problemas de radiofrequencia.	11/07/2005	16:00				12/07/2005		12:00	14/07/2005	17:00	17:30	5,00	2,50	11/08/2005	**647**
LIS.02624	M	762-MG	Não da imagem.	31/03/2004	18:04	452213159602	GRADIENTCOIL NTX	15.798,18 €	31/03/2004	19:15	19:30	12/04/2004	12:00	12:30	100,22	11,48	30/04/2004	**180**
LIS.02744	M	760-MC	Controle de respiracão partido.	20/04/2004	8:00				21/04/2004	09:30	10:30	14/05/2004	16:00	16:00	3,50	1,50	20/05/2004	**200**
LIS.03168	M	760-MA	Enchimento de helio.	16/06/2004	18:33	330	HELIO LIQ. RESSONANCIA DEWAR		17/06/2004	00:00	9:00	17/06/2004	11:00	00:00	2,00	0,00	22/06/2004	**257**
LIS.03277	M	760-MA	Fornecimento de helio.	30/06/2004	17:42	330	HELIO LIQ. RESSONANCIA DEWAR		01/07/2004	00:00	10:00	01/07/2004	12:00	00:00	2,00	0,00	06/07/2004	**271**
LIS.03561	M	781-MSC	Problemas com controlo respiratorio	05/08/2004	9:00				05/08/2004	09:30	10:00	05/08/2004	10:30	10:30	0,50	0,50	15/08/2004	**307**
LIS.03752	M	781-MSC	Sensor respiratorio avariou.	02/09/2004	8:00				02/09/2004	10:30	11:00	02/09/2004	12:30	13:00	1,50	1,00	24/09/2004	**335**
LIS.03830	M	760-MB	Substituir baterias no Magneto power supply	15/09/2004	18:20	452215014251	ERDU BATTERY (CONJ. 6)	111,30 €	16/09/2004	18:31	19:00	16/09/2004	19:30	20:00	0,50	0,98	23/09/2004	**348**
LIS.04429	M	760-MA	Enchimento de helio.	07/12/2004	15:35	330	HELIO LIQ. RESSONANCIA DEWAR		21/01/2005	00:00	11:00	21/01/2005	12:30	00:00	1,50	0,00	21/01/2005	**431**
LIS.04557	M	760-MVP	Problema c/ o sensor de protecção de dedos	27/12/2004	8:00	452213057985	SWITCH PLATE FRONT	880,81 €	25/02/2005	08:30	08:30	25/02/2005	9:00	09:00	0,50	0,00	09/03/2005	**451**
LIS.04557	M	760-MVP				452213163531	QBC DUST STRIPS (NO FOAM)	306,68 €										**0**
LIS.05104	M	760-MA	Enchimento de helio.	10/03/2005	13:54	330	HELIO LIQ. RESSONANCIA DEWAR		11/03/2005	00:00	9:00	11/03/2005	11:00	00:00	2,00	0,00	11/03/2005	**524**
LIS.06002	M	760-MA	Enchimento de helio.	11/07/2005	18:00	330	HELIO LIQ. RESSONANCIA DEWAR		12/07/2005	00:00	10:00	12/07/2005	12:00	00:00	2,00	0,00	14/07/2005	**647**
LIS.06241	M	781-MSC	Respiratory hose danificado.	22/08/2005	11:12	452211747703	RESP INT CARD	1.525,92 €	22/08/2005	16:30	17:00	24/08/2005	14:30	15:00	1,50	2,00	20/09/2005	**689**
LIS.06815	M	760-MA	Enchimento de helio	03/11/2005	18:29				03/11/2005	19:00	19:00	03/11/2005	20:00	20:00	1,00	0,00	03/11/2005	**762**
LIS.01142	S	780-SR	Bobine da coluna lombar desligada.	09/01/2004	14:51	452213156511	QTL CONNECTION CABLE	109,44 €	12/01/2004	10:30	11:00	12/01/2004	18:30	19:00	7:30	1:00	03/02/2004	**98**
LIS.02282	S	765-SR	Cabo da antena de cranio avariado.	15/02/2004	9:01	452213029887	CABLE ASSY QHC (T5NT5-NT)	783,09 €	17/02/2004	11:00	11:30	17/02/2004	12:30	12:30	1,00	0,50	20/02/2004	**135**
LIS.06017	S	780-SR	Problemas com a antena QTL.	14/07/2005	15:37	452213156511	QTL CONNECTION CABLE	693,60 €	03/08/2005	10:30	11:00	09/08/2005	13:15	13:45	10,75	3,00	20/10/2005	**650**
LIS.06017	S	780-SR				452211757351	SUPPLY CARD 300V	1.420,38 €										**0**
LIS.06757	S	780-SR	Antena de cranio não da sinal.	26/10/2005	18:07	452213029887	CABLE ASSY QHC (T5NT5-NT)	783,09 €	31/10/2005	15:00	15:15	07/11/2005	15:00	15:30	4,50	1,50	06/12/2005	**754**

Início de contagem dos tempos	**3-Out-03**
Fim da contagem tempos	**31-Dez-05**
T0 =	**820**

ANEXO - C

Philips Portuguesa S.A

Obra#	Folha de trabalho	Técnico	Inicio trabalho			Fim do Trabalho			Paragens		Tempo	
			Data	In_viag	In_trab	Data	Fim_trab	Fim_viag	Trab	Viag	Trab	Viag
LIS.01259	2556	N.Pereira	03/10/2003	10:30	11:00	03/10/2003	18:30	18:30	1,00	0,00	6,50	0,50
LIS.01259	2556	N.Pereira	03/10/2003	18:30	18:30	03/10/2003	20:00	20:30	0,00	0,00	1,50	0,50
LIS.01259	2556	M.Castela	03/10/2003	11:00	11:30	03/10/2003	17:00	17:00	1,00	0,00	4,50	0,50
LIS.02124	086A26	N.Pereira	06/02/2004	9:00	9:30	06/02/2004	15:00	16:30	0,00	1,00	5,50	1,00
LIS.02941	086A4H	N.Pereira	28/05/2004	11:00	11:30	28/05/2004	18:00	18:30	1,50	0,00	5,00	1,00
LIS.03841	086A6D	N.Pereira	01/10/2004	9:30	10:00	01/10/2004	17:30	18:00	1,50	0,00	6,00	1,00
LIS.04739	086A91	N.Pereira	25/02/2005	9:30	10:00	25/02/2005	18:30	18:30	1,50	0,00	7,00	0,50
LIS.04739	086A91	N.Pereira	25/02/2005	18:30	18:30	25/02/2005	19:15	19:45	0,00	0,00	0,75	0,50
LIS.05651	086ABA	N.Pereira	08/07/2005	9:30	10:00	08/07/2005	17:00	17:30	1,00	0,00	6,00	1,00
LIS.06483	086AC	N.Pereira	07/10/2005	9:30	10:00	07/10/2005	18:00	18:30	1,00	0,00	7,00	1,00
LIS.06483	086AC	N.Pereira	09/10/2005	10:00	10:30	09/10/2005	12:30	13:00	0,00	0,00	2,00	1,00
LIS.07400	086AEU	N.Pereira	03/02/2006	10:00	10:30	03/02/2006	13:00	14:30	0,00	1,00	2,50	1,00
									8,50	**2,00**	**54,25**	**9,50**

ANEXO - D

LIS.01142

Resonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Antena de coluna torácica / lombar				
Identificação do subconjunto		780 - SR				
Identificação do conjunto		S - Diversos				
Função		Recepção do sinal de RF após excitação dos protões de hidrogénio para execução de exames de coluna torácica / lombar				
Modo de falha 1		Bobine da coluna lombar desligada.				
Modo de falha 2						
Modo de falha 3						
Causas da falha 1		Cabo de ligação danificado				
Causas da falha 2						
Causas da falha 3						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Não funcionamento da antena de coluna torácica / lombar				
	Para o conjunto	Falha na recepção do sinal				
	Para o sistema	Impossibilidade de execução de exames de coluna torácica / lombar				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
	0,3	Muito baixa	2	X	X	X
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			X
		Aceitavel-falha parcial	2	X	X	
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do cabo de ligação da antena.				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.01660

Resonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente	Compressor de Hélio
Identificação do subconjunto	761 - AA
Identificação do conjunto	A-Sistema de refrigeração
Função	Diminuir o nível de evaporação de hélio liquido
Modo de falha 1	Compressor não arranca.
Modo de falha 2	
Modo de falha 3	
Causas da falha 1	Protecção éléctrica do compressor desliga quando existem picos de corrente
Causas da falha 2	
Causas da falha 3	

Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total na recuperação de hélio
	Para o conjunto	Falha Parcial
	Para o sistema	Falha Parcial
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	

β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
	0,6	Moderada	4	x		
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
			Soma (igual a 1)	1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2	x	x	x
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			

Acção	Modo de falha 1	Ligação da protecção eléctrica do compressor.
	Modo de falha 2	
	Modo de falha 3	

LIS.02025

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Fonte de alimentação				
Identificação do subconjunto		769-FI				
Identificação do conjunto		F-Bastidor de aquisição de dados				
Função		Alimentação electrica do bastidor F				
Modo de falha 1		Fonte queimada				
Modo de falha 2						
Modo de falha 3						
Causas da falha 1		Avaria da unidade de ventilação - Motor queimado e filtro colmatado				
Causas da falha 2						
Causas da falha 3						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Inoperacionalidade da fonte de alimentação				
	Para o conjunto	Inoperacionalidade do bastidor de aquisição de dados				
	Para o sistema	Falha Total - Impossibilidade de execução de exames				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
	0,6	Moderada	4	X	X	X
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3	X	X	X
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	X	X	X
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição da fonte de alimentação, de um dos cinco ventiladores e do filtro				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.02080

RMNResonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Software				
Identificação do subconjunto		777 - BHG				
Identificação do conjunto		B-Consola de sistema de informação				
Função		Comunicação com estações de trabalho exteriores				
Modo de falha 1		Falha de comunicação com estações de trabalho externas				
Modo de falha 2						
Modo de falha 3						
Causas da falha 1		Configuração incorrecta do sistema				
Causas da falha 2						
Causas da falha 3						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Parcial				
	Para o conjunto	Parcial				
	Para o sistema	Sem consequências				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
	0,15	Remota	1	X		
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	0,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	0,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			X
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1	X	X	
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	X	X	X
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Reconfiguração do endereço do IP				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.02151

RMNResonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Cabo de vídeo				
Identificação do subconjunto		775 -BM				
Identificação do conjunto		B-Consola de sistema de informação				
Função		Transferencia de imagens do computador para o monitor				
Modo de falha 1		Mau contacto na ficha terminal do cabo				
Modo de falha 2		Cabo trilhado				
Modo de falha 3						
Causas da falha 1		Envelhecimento				
Causas da falha 2		Cortado por acção mecânica				
Causas da falha 3						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Monitor verde				
	Para o conjunto	Sem consequencias				
	Para o sistema	Sem consequencias				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	Monitor verde				
	Para o conjunto	Sem consequencias				
	Para o sistema	Sem consequencias				
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
	0,5	Baixa	3	x		
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2	X		
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			0,7		
	Modo de falha 2			0,3		
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	0,0	0,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			X
		marginal-falha parc. s/ consq.	1	X	X	
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			X
		marginal-falha parc. s/ consq.	1	X	X	
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	X		
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	X		
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do cabo				
	Modo de falha 2	Substituição do cabo				
	Modo de falha 3					

LIS.02244

Resonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Tubo de amplificação do sinal de RF				
Identificação do subconjunto		764 -FR				
Identificação do conjunto		F - Bastidor de aquisição de dados				
Função		Criação de RF para excitação dos protões de hidrogénio				
Modo de falha 1		Interrupção de exames a meio da sequência (devido à interrupção da cadeia de RF)				
Modo de falha 2						
Modo de falha 3						
Causas da falha 1		Envelhecimento dos tubos de amplificação (implica o reajuste do ganho)				
Causas da falha 2						
Causas da falha 3						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Avaria no amplificador de RF				
	Para o conjunto	Inoperaciona-lidade do bastidor de aquisição de dados				
	Para o sistema	Falha total - Impossibilidade de execução de exames				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
	0,5	Baixa	3	X	X	X
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3	X	X	X
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	X	X	X
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Reajuste do ganho do amplificador de RF				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.02282

Resonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Antena de Crânio
Identificação do subconjunto		765 - SR
Identificação do conjunto		S - Diversos
Função		Recepção do sinal de RF após excitação dos protões de hidrogénio para execução de exames de crânio
Modo de falha 1		Cabos de ligação da antena partidos.
Modo de falha 2		
Modo de falha 3		
Causas da falha 1		Fadiga mecânica dos cabos
Causas da falha 2		
Causas da falha 3		
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Avaria da antena de crânio
	Para o conjunto	Falha na recepção do sinal
	Para o sistema	Falha Parcial - Impossibilidade de execução de exames de crânio
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	

β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
	0,5	Baixa	3	x		
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			x
		Aceitavel-falha parcial	2	x	x	
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			

Acção	Modo de falha 1	Substituição do cabo de ligação da antena de crânio
	Modo de falha 2	
	Modo de falha 3	

LIS.02354

Resonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Compressor de Hélio				
Identificação do subconjunto		761 - AA				
Identificação do conjunto		A-Sistema de refrigeração				
Função		Diminuir o nível de evaporação de hélio liquido				
Modo de falha 1		Compressor de hélio desligado				
Modo de falha 2						
Modo de falha 3						
Causas da falha 1		Protecção électrica do compressor desliga quando existem picos de corrente				
Causas da falha 2						
Causas da falha 3						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total na recuperação de hélio				
	Para o conjunto	Falha Parcial				
	Para o sistema	Falha Parcial				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
	0,6	Moderada	4	x		
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2	x	x	x
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Ligação da protecção eléctrica do compressor.				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.02371

Resonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente	Tubo de amplificação do sinal de RF
Identificação do subconjunto	764 - FR
Identificação do conjunto	F-Bastidor de aquisição de dados
Função	Criação de RF para excitação dos protões de hidrogénio
Modo de falha 1	Interrupção de exames a meio da sequência (devido à interrupção da cadeia de R
Modo de falha 2	
Modo de falha 3	
Causas da falha 1	Envelhecimento dos tubos de amplificação (implica o reajuste do ganho)
Causas da falha 2	
Causas da falha 3	

Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Avaria no amplificador de RF
	Para o conjunto	Inoperaciona-lidade do bastidor de aquisição de dados
	Para o sistema	Falha total - Impossibilidade de execução de exames
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	

β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
	0,5	Baixa	3	X	X	X
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2	x	x	x
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Reajuste do ganho do amplificador de RF				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.02624

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Bobine de gradientes
Identificação do subconjunto		762 - MG
Identificação do conjunto		M-Conjunto do magneto
Função		Criação de gradientes de campo magnético para codificação espacial do sinal de RF
Modo de falha 1		Ausencia de imagem
Modo de falha 2		
Modo de falha 3		
Causas da falha 1		Falta de isolamento entre espiras da bobine de gradiente
Causas da falha 2		
Causas da falha 3		
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha total - Não funcionamento da bobine de gradiente
	Para o conjunto	Falha total - Avaria do conjunto do magneto
	Para o sistema	Falha total - Impossibilidade de execução de exames
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	

				Componente	Subconjunto	Conjunto
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
	0,15	Remota	1	x		
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

				subconjunto	Conjunto	Sistema
α - Contribuição do modo de falha para a avaria	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
			Soma (igual a 1)	1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3	x	x	x
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			

Acção	Modo de falha 1	Substituição da bobine de gradientes e execução dos respectivos ajustes.
	Modo de falha 2	
	Modo de falha 3	

LIS.02705

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Rato do computador da consola				
Identificação do subconjunto		777 - BHG				
Identificação do conjunto		B-Consola de sistema de informação				
Função		Navegação no software de aplicações da consola				
Modo de falha 1		Mola do botão do lado direito do rato partida				
Modo de falha 2						
Modo de falha 3						
Causas da falha 1		Desgaste mecânico				
Causas da falha 2						
Causas da falha 3						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial				
	Para o conjunto	Falha Parcial				
	Para o sistema	Falha Parcial				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
	0,8	Alta	5	x		
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
			Soma (igual a 1)	1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2	x	x	x
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1	x	x	x
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do rato do computador da consola.				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.02744

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Tubo do sensor respiratório				
Identificação do subconjunto		760 - MC				
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto				
Função		Envio de ar para o sensor de sincronização respiratória para os exames do abdómen e do torax				
Modo de falha 1		Tubo de ligação ao sensor partido				
Modo de falha 2						
Modo de falha 3						
Causas da falha 1		Choque mecânico				
Causas da falha 2						
Causas da falha 3						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total (para alguns exames de abdómen ou torax)				
	Para o conjunto	Falha Parcial - Ausência de sincronização respiratória				
	Para o sistema	Não execução de alguns exames específicos devido à ausência de sincronização respiratória				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
	1,00	Muito alta	6	x		
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2	x	x	x
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do tubo do sensor respiratório				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.03036

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Gravador de discos ópticos				
Identificação do subconjunto		775 - BEO				
Identificação do conjunto		B-Consola de sistema de informação				
Função		Gravação de exames nos discos ópticos externos				
Modo de falha 1		Sistema não grava imagens para os discos ópticos externos.				
Modo de falha 2						
Modo de falha 3						
Causas da falha 1		Desgaste mecânico na unidade de gravação.				
Causas da falha 2						
Causas da falha 3						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total				
	Para o conjunto	Falha Parcial				
	Para o sistema	Falha Parcial				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4	x		
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2	x	x	x
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição da unidade de discos ópticos				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.03036A

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Rato do computador da consola				
Identificação do subconjunto		777 - BHG				
Identificação do conjunto		B - Consola do sistema de informação				
Função		Navegação no software de aplicações da consola				
Modo de falha 1		Cursor apresenta dificuldades de movimento				
Modo de falha 2						
Modo de falha 3						
Causas da falha 1		Desgaste mecânico				
Causas da falha 2						
Causas da falha 3						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial				
	Para o conjunto	Falha Parcial				
	Para o sistema	Falha Parcial				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
	0,8	Alta	5	x		
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
			Soma (igual a 1)	1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1	x	x	x
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do rato do computador da consola.				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.03036B

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Ventiladores da consola				
Identificação do subconjunto		775 - BEG				
Identificação do conjunto		B-Consola do sistema de informação				
Função		Arrefecimento da consola				
Modo de falha 1		Ventoinha não funciona				
Modo de falha 2						
Modo de falha 3						
Causas da falha 1		Enrolamentos da ventoinha queimados				
Causas da falha 2						
Causas da falha 3						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial				
	Para o conjunto	Falha Parcial				
	Para o sistema	Falha Parcial				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
	0,6	Moderada	4	x		
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2	x	x	x
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do ventilador				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.03168

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente	Hélio liquido
Identificação do subconjunto	760 - MA
Identificação do conjunto	M - Conjunto do magneto
Função	Produção das condições para a supercondutividade do magneto
Modo de falha 1	Nível de hélio liquido no interior do magneto baixo
Modo de falha 2	
Modo de falha 3	
Causas da falha 1	Evaporação do hélio liquido
Causas da falha 2	
Causas da falha 3	

Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial
	Para o conjunto	Falha Inexistente
	Para o sistema	Falha Inexistente
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	

				Componente	Subconjunto	Conjunto
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1					
		Muito alta	6	x		
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

				subconjunto	Conjunto	Sistema
α - Contribuição do modo de falha para a avaria	Modo de falha 1			1,0	0,0	0,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
			Soma (igual a 1)	1,0	0,0	0,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1	x	x	x
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1	x	x	x
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			

Acção	Modo de falha 1	Enchimento de hélio no reservatório do magneto
	Modo de falha 2	
	Modo de falha 3	

LIS.03277

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Campo		
Identificação do componente		Hélio liquido
Identificação do subconjunto		760 - MA
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto
Função		Produção das condições para a supercondutividade do magneto
Modo de falha 1		Nível de hélio liquido no interior do magneto baixo
Modo de falha 2		
Modo de falha 3		
Causas da falha 1		Evaporação do hélio liquido
Causas da falha 2		
Causas da falha 3		
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial
	Para o conjunto	Falha Inexistente
	Para o sistema	Falha Inexistente
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	

				Componente	Subconjunto	Conjunto
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6	x		
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

				subconjunto	Conjunto	Sistema
α - Contribuição do modo de falha para a avaria	Modo de falha 1			1,0	0,0	0,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	0,0	0,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1	x	x	x
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1	x	x	x
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Enchimento de hélio no reservatório do magneto				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.03561

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Tubo do sensor respiratório
Identificação do subconjunto		760 - MC
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto
Função		Envio de ar para o sensor de sincronização respiratória para os exames do abdómen e do torax
Modo de falha 1		Tubo de ligação ao sensor partido
Modo de falha 2		
Modo de falha 3		
Causas da falha 1		Choque mecânico
Causas da falha 2		
Causas da falha 3		
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total (para alguns exames de abdómen ou torax)
	Para o conjunto	Falha Parcial - Ausência de sincronização respiratória
	Para o sistema	Não execução de alguns exames específicos devido à ausência de sincronização respiratória
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	

				Componente	Subconjunto	Conjunto
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
	1,00	Muito alta	6	x		
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
			Soma (igual a 1)	1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2	x	x	x
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do tubo do sensor respiratório				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.03752

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Tubo do sensor respiratório
Identificação do subconjunto		760 - MC
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto
Função		Envio de ar para o sensor de sincronização respiratória para os exames do abdómen e do torax
Modo de falha 1		Tubo de ligação ao sensor partido
Modo de falha 2		
Modo de falha 3		
Causas da falha 1		Choque mecânico
Causas da falha 2		
Causas da falha 3		
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total (para alguns exames de abdómen ou torax)
	Para o conjunto	Falha Parcial - Ausência de sincronização respiratória
	Para o sistema	Não execução de alguns exames específicos devido à ausência de sincronização respiratória
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	

β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
	1,00	Muito alta	6	x		
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2	x	x	x
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do tubo do sensor respiratório				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.03830

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Baterias para unidade de monitorização do magneto
Identificação do subconjunto		760 - MB
Identificação do conjunto		M-Conjunto do magneto
Função		Alimentação da unidade de monitorização do magneto em caso de falha de energia
Modo de falha 1		Alarme de falha de bateria na unidade de monitorização do magneto
Modo de falha 2		
Modo de falha 3		
Causas da falha 1		Problemas com as baterias colocadas anteriormente
Causas da falha 2		
Causas da falha 3		
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial
	Para o conjunto	Falha Inexistente
	Para o sistema	Falha Inexistente
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	

β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
	0,5	Baixa	3	x		
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	0,0	0,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	0,0	0,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2	x		
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1	x		
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição das baterias				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.04006

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Módulo de potência para os gradientes				
Identificação do subconjunto		763 - DM1				
Identificação do conjunto		D - Bastidor de gradiente				
Função		Fornecer potência para os gradientes				
Modo de falha 1		Gradientes sem alimentação				
Modo de falha 2						
Modo de falha 3						
Causas da falha 1		Avaria no módulo de potência de alimentação dos gradientes				
Causas da falha 2						
Causas da falha 3						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total				
	Para o conjunto	Falha Total				
	Para o sistema	Falha Total - Impossibilidade de efectuar exames				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
	0,3	Muito baixa	2	x		
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
			Soma (igual a 1)	1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3	x	x	x
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do módulo de potência dos gradientes				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.04401

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Rato do computador da consola
Identificação do subconjunto		777 - BHG
Identificação do conjunto		B-Consola de sistema de informação
Função		Navegação no software de aplicações da consola
Modo de falha 1		Cursor apresenta dificuldades de movimento
Modo de falha 2		
Modo de falha 3		
Causas da falha 1		Desgaste mecânico
Causas da falha 2		
Causas da falha 3		
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial
	Para o conjunto	Falha Parcial
	Para o sistema	Falha Parcial
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	

β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
	0,8	Alta	5	x		
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1	x	x	x
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do rato do computador da consola.				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.04429

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Hélio liquido				
Identificação do subconjunto		760 - MA				
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto				
Função		Produção das condições para a supercondutividade do magneto				
Modo de falha 1		Nível de hélio liquido no interior do magneto baixo				
Modo de falha 2						
Modo de falha 3						
Causas da falha 1		Evaporação do hélio liquido				
Causas da falha 2						
Causas da falha 3						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial				
	Para o conjunto	Falha Inexistente				
	Para o sistema	Falha Inexistente				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6	x		
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	0,0	0,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	0,0	0,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1	x	x	x
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1	x	x	x
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Enchimento de hélio no reservatório do magneto				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.04557

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Interruptor de protecção dos dedos do doente.				
Identificação do subconjunto		760 - MVP				
Identificação do conjunto		M-conjunto do magneto				
Função		Protecção para evitar que os dedos dos doentes fiquem entalados entre a mesa e o magneto.				
Modo de falha 1		Falha de funcionamento do interruptor				
Modo de falha 2						
Modo de falha 3						
Causas da falha 1		Desgaste mecânico do interruptor				
Causas da falha 2						
Causas da falha 3						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total - Ausência de protecção da mão do doente				
	Para o conjunto	Falha Total - Ausência de protecção da mão do doente				
	Para o sistema	Falha Total - Impossibilidade de execução de exames				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
	0,3	Muito baixa	2	x		
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3	x	x	x
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	X	X	X
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do sensor de protecção dos dedos do doente.				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.05104

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Hélio liquido
Identificação do subconjunto		760 - MA
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto
Função		Produção das condições para a supercondutividade do magneto
Modo de falha 1		Nível de hélio liquido no interior do magneto baixo
Modo de falha 2		
Modo de falha 3		
Causas da falha 1		Evaporação do hélio liquido
Causas da falha 2		
Causas da falha 3		
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial
	Para o conjunto	Falha Inexistente
	Para o sistema	Falha Inexistente
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	

β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6	x		
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	0,0	0,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	0,0	0,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1	x	x	x
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1	x	x	x
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Enchimento de hélio no reservatório do magneto				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.05284

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente	Gravador de discos ópticos
Identificação do subconjunto	775 - BEO
Identificação do conjunto	B-Consola de sistema de informação
Função	Gravação de exames nos discos ópticos externos
Modo de falha 1	Sistema não grava imagens para os discos ópticos externos.
Modo de falha 2	
Modo de falha 3	
Causas da falha 1	Sujidade no módulo óptico da unidade de gravação dos discos
Causas da falha 2	
Causas da falha 3	

Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total
	Para o conjunto	Falha Parcial
	Para o sistema	Falha Parcial
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	

β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4	x		
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2	x	x	x
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Limpeza do módulo óptico da unidade de gravação de discos ópticos				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.05579

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Compressor de Hélio
Identificação do subconjunto		761 - AA
Identificação do conjunto		A-Sistema de refrigeração
Função		Diminuir o nível de evaporação de hélio liquido
Modo de falha 1		Compressor de hélio desligado
Modo de falha 2		
Modo de falha 3		
Causas da falha 1		Protecção éléctrica do compressor desliga quando existem picos de corrente
Causas da falha 2		
Causas da falha 3		
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total
	Para o conjunto	Falha Parcial
	Para o sistema	Falha Parcial
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	

β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
	0,6	Moderada	4	x		
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
			Soma (igual a 1)	1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2	x	x	x
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Ligação da protecção eléctrica do compressor.				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.06002

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente	Hélio liquido
Identificação do subconjunto	760 - MA
Identificação do conjunto	M - Conjunto do magneto
Função	Produção das condições para a supercondutividade do magneto
Modo de falha 1	Nível de hélio liquido no interior do magneto baixo
Modo de falha 2	
Modo de falha 3	
Causas da falha 1	Evaporação do hélio liquido
Causas da falha 2	
Causas da falha 3	

Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial
	Para o conjunto	Falha Inexistente
	Para o sistema	Falha Inexistente
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	

β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6	x		
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	0,0	0,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	0,0	0,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1	x	x	x
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1	x	x	x
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			

Acção	Modo de falha 1	Enchimento de hélio no reservatório do magneto
	Modo de falha 2	
	Modo de falha 3	

LIS.06004

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Rato do computador da consola				
Identificação do subconjunto		777 - BHG				
Identificação do conjunto		B-Consola do sistema de informação				
Função		Navegação no software de aplicações da consola				
Modo de falha 1		Cursor apresenta dificuldades de movimento				
Modo de falha 2						
Modo de falha 3						
Causas da falha 1		Desgaste mecânico				
Causas da falha 2						
Causas da falha 3						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial				
	Para o conjunto	Falha Parcial				
	Para o sistema	Falha Parcial				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
	0,8	Alta	5	x		
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1	x	x	x
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do rato do computador da consola.				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.06004A

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Tubo de amplificação do sinal de RF				
Identificação do subconjunto		764 - FR				
Identificação do conjunto		F-Bastidor de aquisição de dados				
Função		Criação de RF para excitação dos protões de hidrogénio				
Modo de falha 1		Interrupção de exames a meio da sequência (devido à interrupção da cadeia de R				
Modo de falha 2						
Modo de falha 3						
Causas da falha 1		Envelhecimento dos tubos de amplificação (implica o reajuste do ganho)				
Causas da falha 2						
Causas da falha 3						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Avaria no amplificador de RF				
	Para o conjunto	Inoperaciona-lidade do bastidor de aquisição de dados				
	Para o sistema	Falha total - Impossibilidade de execução de exames				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
	0,5	Baixa	3	x	x	x
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2	x	x	x
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	X	X	X
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Reajuste do ganho do amplificador de RF				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.06017

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Antena de coluna torácica / lombar				
Identificação do subconjunto		780 - SR				
Identificação do conjunto		S - Diversos				
Função		Recepção do sinal de RF após excitação dos protões de hidrogénio para execução de exames de coluna torácica / lombar				
Modo de falha 1		Sistema não detecta a antena de coluna torácica / lombar				
Modo de falha 2						
Modo de falha 3						
Causas da falha 1		Placa electrónica de identificação da antena danificada				
Causas da falha 2						
Causas da falha 3						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Não funcionamento da antena de coluna torácica / lombar				
	Para o conjunto	Falha na recepção do sinal				
	Para o sistema	Impossibilidade de execução de exames de coluna torácica / lombar				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
	0,3	Muito baixa	2	X	X	X
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
			Soma (igual a 1)	1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			X
		Aceitavel-falha parcial	2	X	X	
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição da placa de identificação da antena e do cabo de ligação da antena (preventivo porque o cabo estava esmagado)				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.06241

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente	Sensor de controlo respiratório
Identificação do subconjunto	781 - MSC
Identificação do conjunto	M - Conjunto do magneto
Função	Sincronizar a respiração do doente com a execução do exame
Modo de falha 1	Sensor não faz leituras.
Modo de falha 2	
Modo de falha 3	
Causas da falha 1	Avaria electrónica na placa de aquisição do sinal
Causas da falha 2	
Causas da falha 3	

Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total (para alguns exames de abdómen ou torax)
	Para o conjunto	Falha Parcial - Ausência de sincronização respiratória
	Para o sistema	Não execução de alguns exames específicos devido à ausência de sincronização respiratória
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	

				Componente	Subconjunto	Conjunto
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
	0,80	Alta	5	x		
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
			Soma (igual a 1)	1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2	x	x	x
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			

Acção	Modo de falha 1	Substituição da placa de aquisição do sinal do sensor respiratório
	Modo de falha 2	
	Modo de falha 3	

LIS.06618

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Disco de dados do computador (disco rígido)				
Identificação do subconjunto		777 - BHG				
Identificação do conjunto		B - Consola do sistema de informação				
Função		Armazenamento das imagens adquiridas				
Modo de falha 1		Impossibilidade de gravação original de imagens no disco rígido				
Modo de falha 2						
Modo de falha 3						
Causas da falha 1		Disco rígido com blocos danificados				
Causas da falha 2						
Causas da falha 3						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total				
	Para o conjunto	Falha Total				
	Para o sistema	Falha Total				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
	0,5	Baixa	3	x	x	x
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
			Soma (igual a 1)	1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3	x	x	x
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	X	X	X
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Formatação (de baixo nível) do disco de dados do sistema				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.06626

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Sistema de compressão e expansão do hélio gasoso ("Cabeça Fria" - Embolo de compressão no magneto)
Identificação do subconjunto		761 - AB
Identificação do conjunto		A - Sistema de refrigeração
Função		Refrigeração do Magneto
Modo de falha 1		Paragem do êmbolo de compressão de hélio no Magneto
Modo de falha 2		
Modo de falha 3		
Causas da falha 1		Desgaste mecânico
Causas da falha 2		
Causas da falha 3		
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total
	Para o conjunto	Falha Total
	Para o sistema	Falha Total
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	

β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4	x		
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1	1	1
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave-falha total	3	x	x	x
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1	x	x	x
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição da unidade de compressão de hélio gasoso.				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.06757

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Antena de Crânio
Identificação do subconjunto		765 - SR
Identificação do conjunto		S - Diversos
Função		Recepção do sinal de RF após excitação dos protões de hidrogénio para execução de exames de crânio
Modo de falha 1		Cabos de ligação da antena partidos.
Modo de falha 2		
Modo de falha 3		
Causas da falha 1		Fadiga mecânica dos cabos
Causas da falha 2		
Causas da falha 3		
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Avaria da antena de crânio
	Para o conjunto	Falha na recepção do sinal
	Para o sistema	Falha Parcial - Impossibilidade de execução de exames de crânio
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	

β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
	0,5	Baixa	3	x		
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			x
		Aceitavel-falha parcial	2	x	x	
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	x	x	x
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do cabo de ligação da antena de crânio				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.06815

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Hélio liquido
Identificação do subconjunto		760 - MA
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto
Função		Produção das condições para a supercondutividade do magneto
Modo de falha 1		Nível de hélio liquido no interior do magneto baixo
Modo de falha 2		
Modo de falha 3		
Causas da falha 1		Evaporação do hélio liquido
Causas da falha 2		
Causas da falha 3		
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial
	Para o conjunto	Falha Inexistente
	Para o sistema	Falha Inexistente
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	

β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6	x		
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

α - Contribuição do modo de falha para a avaria				subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	0,0	0,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	0,0	0,0
Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1	x	x	x
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1	x	x	x
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Enchimento de hélio no reservatório do magneto				
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					

LIS.06893

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente	Gravador de discos ópticos
Identificação do subconjunto	775 - BEO
Identificação do conjunto	B - Consola de sistema de informação
Função	Armazenamento das imagens adquiridas
Modo de falha 1	Impossibilidade de gravação de imagens para o disco (falha intermitente)
Modo de falha 2	
Modo de falha 3	
Causas da falha 1	Gravador com problemas mecânicos
Causas da falha 2	
Causas da falha 3	

Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial
	Para o conjunto	Falha Parcial
	Para o sistema	Falha Parcial
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	
Efeitos da falha 3	Para o subconjunto	
	Para o conjunto	
	Para o sistema	

				Componente	Subconjunto	Conjunto
β- Probabilidade de ocorrencia do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4	x	x	x
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			

			Subconjunto	Conjunto	Sistema
α - Contribuição do modo de falha para a avaria	Modo de falha 1		1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2				
	Modo de falha 3				
		Soma (igual a 1)	1,0	1,0	1,0

Ocorrência O (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 3			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade S	Modo de falha 1			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			x
		Aceitavel-falha parcial	2	x	x	
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 3			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade D	Modo de falha 1			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2	X	X	X
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
	Modo de falha 3			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			

Acção	Modo de falha 1	Substituição do gravador de discos ópticos
	Modo de falha 2	
	Modo de falha 3	

ANEXO - E

Equipamento de RMN – Análise HAZOP de falhas potenciais por conjunto							
Hazop Nº	**Conjunto**	**Atributo**	**Palavra chave**	**Causa**	**Consequência**	**Monit.**	**Acção**
1	A – Sistema de refrigeração	Eficiência no Arrefecimento do Magneto	Menos	Fugas de hélio ou mau rendimento da "cabeça fria".	Consumo excessivo de hélio.		Reposição do nível de hélio.
2	A – Sistema de refrigeração	Execução de exames	Não	Paragem do compressor por desgaste mecanico	Ausência de arrefecimento do Magneto		Substituição da unidade de compressão de hélio
3	B – Consola de sistema de informação	Execução de exames	Não	Avaria no planeamento, processamento, armazenamento e visualização de imagens.	Não obtenção de imagens.		Reparação dos elementos avariados.
4	B – Consola de sistema de informação	Segurança do doente	Menos	Avaria no sistema de comunicação por voz com o doente e alarme.	Incerteza do estado do doente		Reparação do sistema de comunicação e alarme.
5	D – Bastidor de Gradiente	Execução de exames	Não	Avaria nos amplificadores.	Não obtenção de imagens.		Substituição dos amplificadores.
6	D – Bastidor de Gradiente	Execução de exames	Não	Avaria de fontes de alimentação de amplificadores.	Não obtenção de imagens.		Substituição das fontes de alimentação
7	D – Bastidor de Gradiente	Execução de exames	Não	Falha do sistema de ventilação.	Aumento de temperatura com falha do bastidor.		Reparação do sistema de ventilação.

Equipamento de RMN – Análise HAZOP de falhas potenciais por conjunto

Hazop Nº	Conjunto	Atributo	Palavra chave	Causa	Consequência	Monit.	Acção
8	D – Bastidor de Gradiente	Segurança do doente	Menos	Falha do sensor térmico e fluxo de ar da bobine dos gradientes.	Aumento de temperatura da bobine e risco de queimadura do doente.		Substituição do sensor térmico.
9	F – Bastidor de aquisição de dados	Execução de exames	Não	Avarias em placas de aquisição de dados e reconstrução de imagem.	Falha de construção de imagem.		Substituição das placas.
10	H – Quadro electrico	Execução de exames	Não	Avaria de aparelhagem de protecção eléctrica.	Falha de alimentação eléctrica.		Substituição da aparelhagem avariada.
11	L – Mesa de suporte do doente	Execução de exames	Não	Avarias mecânicas com imobilização da mesa.	Não centragem do doente.		Reparação da avaria.
12	M – Conjunto do magneto	Execução de exames	Não	Avaria no sensor de dedos.	Actuação do sistema de segurança impedindo lesão do operador ou do doente		Substituição do sensor.
13	M – Conjunto do magneto	Segurança do doente	Menos	Deficiente encaminhamento dos cabos das antenas.	Queimaduras do doente por radiofrequência.		Reposição correcta dos cabos.
14	M – Conjunto do magneto	Segurança do doente	Menos	Bypass de antenas de segurança de RF.	Queimaduras do doente por radiofrequência.		Conexão das antenas.

Equipamento de RMN – Análise HAZOP de falhas potenciais por conjunto							
Hazop Nº	**Conjunto**	**Atributo**	**Palavra chave**	**Causa**	**Consequência**	**Monit.**	**Acção**
15	M – Conjunto do magneto	Segurança do doente e do operador	Menos	Sobrepressão do hélio com fuga para a sala.	Contaminação da atmosfera da sala com hélio. Risco de asfixia devido à estratificação do hélio/ar.		Eliminação da sobrepressão e ventilação da sala.
16	S – Diversos	Execução de exames	Parte de	Avaria nas antenas de recepção de sinal.	Não recepção do sinal referente à(s) antena(s) avariada (s).		Substituição da(s) antena(s).

Analise HAZOP da lista de falhas

Hazop Nº	Nº Obra	Conjunto	Sub conjunto	Atributo	Palavra chave	Causa	Consequência	Monitorização	Acção
1	5579 2354	A- Sistema de refrigeração	761-AA	Eficiência no arrefecimento do magneto	Menos	Protecção eléctrica do compressor desliga quando existem picos de corrente	Conjunto em funcionamento mas com maior consumo de hélio		Rearme da protecção eléctrica do compressor
2	6626	A- Sistema de refrigeração	761-AB	Execução de exames	Não	Desgaste mecânico	Ausência de arrefecimento do Magneto		Substituição da unidade de compressão de hélio
3	3036B	B- Consola de sistema de informação	775-BEG	Arrefecimento da consola	Menos	Enrolamentos queimados de um dos ventiladores	Redução do caudal de ar de arrefecimento		Substituição do ventilador
4	5284	B- Consola de sistema de informação	775-BEO	Armazenamento das imagens dos exames	Mais tarde	Sujidade no modulo de gravação dos discos ópticos	O sistema, a RMN, funciona mas o subconjunto está fora de serviço e os exames não são gravados em disco óptico		Limpeza do módulo óptico da unidade de gravação de discos ópticos
5	3036 6893	B- Consola de sistema de informação	775-BEO	Armazenamento das imagens dos exames	Mais tarde	Desgaste mecânico da unidade de gravação de discos ópticos	O sistema, a RMN, funciona mas o subconjunto está fora de serviço e os exames não são gravados em disco óptico		Substituição da unidade de discos ópticos

Analise HAZOP da lista de falhas									
Hazop Nº	**Nº Obra**	**Conjunto**	**Sub conjunto**	**Atributo**	**Palavra chave**	**Causa**	**Consequência**	**Monitorização**	**Acção**
6	2151	B- Consola de sistema de informação	775-BM	Visualização	Menos	Envelhecimento da ficha terminal do cabo de ligação ao monitor da consola	Mau contacto originando monitor verde		Substituição do cabo
7	2151	B- Consola de sistema de informação	775-BM	Visualização	Menos	Cabo trilhado por acção mecânica	Má ligação originando monitor verde		Substituição do cabo
8	3036A 2705 4401 6004	B- Consola de sistema de informação	777-BHG	Operação fácil e expedita do computador	Menos	Cursor do computador apresenta dificuldades de movimento por desgaste mecânico do rato	A RMN funciona mas o operador tem dificuldade em trabalhar com o computador		Substituição do rato
9	2080	B- Consola de sistema de informação	777-BHG	Comunicação com estações externas	Não	Configuração incorrecta do endereço do IP	Falha de comunicação com estações de trabalho externas		Re-configuração do endereço do IP
10	6618	B- Consola de sistema de informação	777-BHG	Realização de exames	Não	Disco rígido com blocos danificados	Impossibilidade de gravação original de imagens no disco rígido do computador		Formatação de baixo nível do disco
11	4006	D – Bastidor de Gradiente	763-DM1	Execução de exames	Não	Falha de componente electrónico (módulo de potência) para os gradientes	Impossibilidade de obtenção de imagem		Substituição do módulo de potência de um dos gradientes

Analise HAZOP da lista de falhas

Hazop Nº	Nº Obra	Conjunto	Sub conjunto	Atributo	Palavra chave	Causa	Consequência	Monitorização	Acção
12	2244 2371 6004A	F – Bastidor de aquisição de dados	764-FR	Execução de exames	Não	Envelhecimento dos tubos de amplificação RF requerendo reajuste do ganho	Interrupção na formação de imagens		Reajuste do ganho da cadeia de RF
13	2025	F – Bastidor de aquisição de dados	769-FI	Execução de exames	Não	Motor da unidade de ventilação queimado e filtro da entrada de ar colmatado	Fonte de alimentação queimada		Substituição da fonte de alimentação do ventilador e do filtro
14	3168 3277 4429 5104 6002 6815	M – Conjunto do magneto	760-MA	Nível de hélio	Menos	Evaporação de hélio	Abaixamento do nível de hélio no reservatório do magneto		Enchimento do reservatório do magneto com hélio
15	3830	M – Conjunto do magneto	760-MB	Segurança do Magneto	Menos	Baterias da unidade de monitorização do magneto esgotadas prematuramente	Impossibilidade de monitorizar o magneto em caso de falha de energia		Substituição das baterias
16	2744 3561 3752	M – Conjunto do magneto	760-MC	Execução de exames	Parte de	Tubo de ligação ao sensor partido	Não execução de alguns exames específicos devido à ausência de sincronização respiratória		Substituição do tubo

Analise HAZOP da lista de falhas									
Hazop Nº	**Nº Obra**	**Conjunto**	**Sub conjunto**	**Atributo**	**Palavra chave**	**Causa**	**Consequência**	**Monitorização**	**Acção**
17	4557	M – Conjunto do magneto	760-MVP	Execução de exames	Não	Desgaste mecânico do interruptor de protecção de dedos	Actuação do sistema de segurança impedindo o acidente no manuseamento da mesa do doente		Substituição do sensor de protecção de dedos
18	2624	M – Conjunto do magneto	762-MG	Execução de exames	Não	Falta de isolamento entre espiras da bobine de gradiente	Ausência de imagem		Substituição da bobine de gradiente e execução dos respectivos ajustes
19	6241	M – Conjunto do magneto	781-MSC	Execução de exames	Parte de	Avaria na placa de aquisição do sinal do sensor respiratório	Não execução de alguns exames específicos devido à ausência de sincronização respiratória		Substituição da placa
20	2282 6757	S - Diversos	765-SR	Execução de exames	Parte de	Cabo de ligação da antena de craneo partido	Sistema não detecta a antena de crânio		Substituição do cabo de ligação da antena
21	6017	S - Diversos	780-SR	Execução de exames	Parte de	Placa de identificação da antena da coluna torácica / lombar danificada	Sistema não detecta a antena de coluna torácica / lombar		Substituição da placa de identificação da antena e do cabo de ligação

FMECA nº 1
Sistema: RMN Philips Gyroscan
Conjunto: A - Sistema de Refrigeração

Data:
Preparado por:

Obra nº	Componente	Função	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeitos da Falha		Criticidade / MIL-STD-1629A					Criticidade / RPN			
					Conjunto	Sistema	Taxa de Avarias	Probabilidade condicional de ocorrência da falha	Contribuição do modo de falha para a falha	Tempo de Operação	Criticidade	Ocorrência	Severidade	Detectabilidade	Criticidade
							λp	β	α	t /dias	$C = \beta * \alpha * \lambda p * t$	(O)	(S)	(D)	$C = O*S*D$
1660 2354 5579	761-AA Cryo Compressor	Recuperação de hélio	Compressor de hélio fora de serviço	Protecção éléctrica do compressor desliga quando existem picos de corrente	Maior consumo de hélio	Sem consequências imediatas	0,003659	0,20	1,00	820	0,6	4	2	2	16
6626	761-AB Cold Head	Arrefecimento do magneto	Paragem do êmbolo de compressão de hélio no Magneto	Desgaste mecânico	Ausência de arrefecimento do Magneto	Impossibilidade de execução de exames	0,001220	1,00	1,00	820	1,0	1	4	2	8
											1,6				24

FMECA nº 2 **Data:**
Sistema: RMN Philips Gyroscan
Conjunto: B - Consola de sistema de informação **Preparado por:**

Obra nº	Componente	Função	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeitos da Falha		Criticidade / MIL-STD-1629A					Criticidade / RPN			
					Conjunto	Sistema	Taxa de Avarias λp	Probabilidade condicional de ocorrência da falha β	Contribuição do modo de falha para a falha α	Tempo de Operação t /dias	Criticidade $C = \beta * \alpha * \lambda p * t$	Ocorrência (O)	Severidade (S)	Detectabilidade (D)	Criticidade $C = O*S*D$
3036B	775 - BEG Fans	Arrefecimento da consola de sistema de informação	Uma das ventoínhas não funciona	Enrolamentos da ventoinha queimados	Redução da capacidade de arrefecimento da consola sem consequências imediatas	Redução da capacidade de arrefecimento da consola sem consequências imediatas	0,001220	0,10	1,00	820	0,100	1	1	2	2
3036 5284 6893	775 - BEO Optical Disk Drive	Gravação de imagens nos discos ópticos externos	Impossibilidade de gravação de imagem nos discos ópticos	Desgaste mecânico na unidade de gravação	Os exames não são gravados em disco óptico mas a consola continua a funcionar	Os exames não são gravados em disco óptico mas a RMN continua a funcionar	0,003659	0,10	1,00	820	0,300	4	1	2	8
2151	775 -BM Operator Console Display	Visualização de imagens	Ecran verde	Deficiência no cabo de ligação ao monitor	Deficiente visualização de imagens	Deficiente visualização de imagens	0,001220	0,20	1,00	820	0,200	1	1	2	2
2705 3036A 4401 6004	777 - BHG Computer Gyroscan	Unidade de processamento de dados e gestão do sistema	Dificuldade em navegar na aplicação de software	Desgaste mecânico do rato	RMN funciona mas o operador tem dificuldade em trabalhar com o computador	RMN funciona mas o operador tem dificuldade em trabalhar com o computador	0,004878	0,10	0,50	820	0,200	5	1	2	10
6618			Impossibilidade de gravação original de imagens no disco rígido	Disco rígido com blocos danificados	Os exames não são gravados no disco rígido	Impossibilidade de realizar exames	0,001220	1,00	0,30	820	0,300	1	2	2	4
2080			Impossibilidade de comunicação com estações de trabalho externas	Configuração incorrecta do sistema	Sem consequências para o conjunto não sendo possível visualizar imagens em estações de trabalho	Sem consequências para a RMN não sendo possível visualizar imagens em estações de trabalho exteriores	0,001220	0,15	0,20	820	0,030	1	1	2	2
											0,530				16

FMECA nº 3
Sistema: RMN Philips Gyroscan
Conjunto: D - Bastidor de gradiente

Data:

Preparado por:

Obra nº	Componente	Função	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeitos da Falha		Criticidade / MIL-STD-1629A					Criticidade / RPN			
					Conjunto	Sistema	Taxa de Avarias λp	Probabilidade condicional de ocorrência da falha β	Contribuição do modo de falha para a falha α	Tempo de Operação t /dias	Criticidade $C = \beta * \alpha * \lambda p * t$	Ocorrência (O)	Severidade (S)	Detectabilidade (D)	Criticidade $C = O * S * D$
4006	763 - DM1 Gradient Amplifier Cabinet	Alimentação das bobines de gradiente X Y Z	Gradientes sem alimentação	Avaria no módulo de potência de alimentação dos gradientes	Parcialmente fora de serviço	Impossibilidade de realizar exames	0,001220	1,00	1,00	820	1,000	1	2	2	4

FMECA nº 4 **Data:**
Sistema: RMN Philips Gyroscan
Conjunto: F - Bastidor de aquisição de dados **Preparado por:**

Obra nº	Componente	Função	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeitos da Falha		Criticidade / MIL-STD-1629A					Criticidade / RPN			
					Conjunto	Sistema	Taxa de Avarias λp	Probabilidade condicional de ocorrência da falha β	Contribuição do modo de falha para a falha α	Tempo de Operação t /dias	Criticidade $C = \beta * \alpha * \lambda p * t$	Ocorrência (O)	Severidade (S)	Detectabilidade (D)	Criticidade $C = O*S*D$
2244 2371 6004A	764 -FR RF Power Amplifier	Amplificar o sinal de RF	Interrupção da cadeia de RF	Envelhecimento dos tubos de amplificação	Impossibilidade de criação de sinal de RF	Interrupção de exames a meio da sequência	0,003659	1,00	1,00	820	3,00	4	3	2	24
2025	769-FI Mains Inlet Unit	Alimentação eléctrica ao bastidor	Bastidor sem alimentação eléctrica	Fonte de alimentação queimada devido à falha do ventilador e colmatação do filtro	Bastidor sem alimentação eléctrica	Impossibilidade de realizar exames	0,001220	1,00	1,00	820	1,00	1	5	2	10
											4,00				34

FMECA nº 5
Sistema: RMN Philips Gyroscan
Conjunto: M - Conjunto do magneto

Data:

Preparado por:

					Efeitos da Falha		Criticidade / MIL-STD-1629A					Criticidade / RPN			
Obra nº	Componente	Função	Modo de Falha	Causa da Falha	Conjunto	Sistema	Taxa de Avarias λp	Probabilidade condicional de ocorrência da falha β	Contribuição do modo de falha para a falha α	Tempo de Operação t /dias	Criticidade $C = \beta * \alpha * \lambda p * t$	Ocorrência (O)	Severidade (S)	Detectabilidade (D)	Criticidade $C = O*S*D$
3168 / 3277 / 4429 / 5104 / 6002 / 6815	760-MA Magnet	Criação do campo magnético de 0,5T	Nível de hélio liquido no interior do magneto baixo	Evaporação do hélio liquido	Sem efeitos imediatos considerando o reenchimento imediato	Sem efeitos imediatos considerando o reenchimento imediato	0,007317	0,05	1,00	820	0,30	5	1	1	5
3830	760-MB Magnet Monitoring Unit	Monitorização do magneto	Alarme de falha de bateria na unidade de monitorização do magneto	Baterias da unidade de monitorização do magneto esgotadas prematuramente	Impossibilidade de monitorizar o magneto em caso de falha de energia	Impossibilidade de monitorizar o magneto em caso de falha de energia	0,001220	0,05	1,00	820	0,05	1	1	1	1
2744 / 3561 3752	760-MC PICU Front and Rear	Ligação de parâmetros fisiológicos	Tubo de ligação ao sensor partido	Choque mecânico	Ausência de sincronização respiratória	Não execução de alguns exames específicos	0,003659	0,30	1,00	820	0,90	4	2	2	16
4557	760-MVP Finger Protection	Protecção dos dedos do doente	Falha de funcionamento do interruptor de protecção de dedos	Desgaste mecânico do interruptor de protecção de dedos	Ausência de protecção dos dedos	Impossibilidade de execução de exames	0,001220	1,00	1,00	820	1,00	1	2	2	4
2624	762-MG Gradient Coil	Criação de gradiente no campo magnetico base para codificação espacial	Ausência de imagem	Falha de isolamento entre espiras duma bobine de gradiente	Não funcionamento duma bobine de gradiente	Impossibilidade de execução de exames	0,001220	1,00	1,00	820	1,00	1	5	2	10
6241	781-MSC Pat. Int.	Interface com o paciente	Sensor não faz leituras	Avaria na placa de aquisição do sinal do sensor respiratório	Ausência de sincronização respiratória	Não execução de alguns exames específicos	0,001220	0,30	1,00	820	0,30	1	2	2	4
									6,00		3,55				40

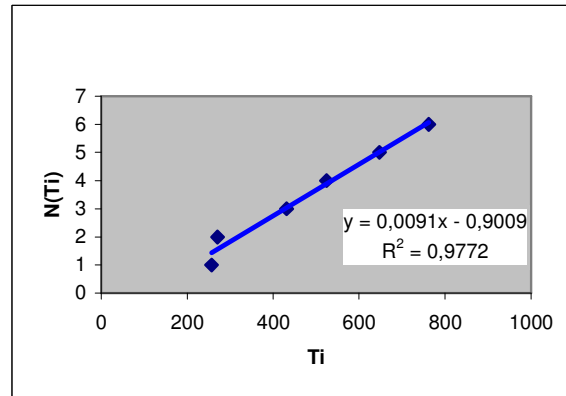
FMECA nº 6
Sistema: RMN Philips Gyroscan
Conjunto: S - Diversos

Data:

Preparado por:

Obra nº	Componente	Função	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeitos da Falha		Criticidade / MIL-STD-1629A					Criticidade / RPN			
					Conjunto	Sistema	Taxa de Avarias λp	Probabilidade condicional de ocorrência da falha β	Contribuição do modo de falha para a falha α	Tempo de Operação t /dias	Criticidade C = β ∗ α ∗ λp ∗ t	Ocorrência (O)	Severidade (S)	Detectabilidade (D)	Criticidade C = O∗S∗D
2282 6757	765-SR Head Coil	Recolha de sinal RF em exames de crânio	Sistema não detecta a antena de crânio	Cabos de ligação da antena partidos devido a fadiga mecânica	Não captação de sinal	Impossibilidade de efectuar exames de crânio	0,002439	0,70	1,00	820	1,40	3	2	2	12
6017	780-SR Receive Coils	Recolha de sinal RF em exames de coluna lomabar torácica	Por falha electronica o sistema não detecta a antena de coluna torácica / lombar	Placa de identificação da antena da coluna torácica / lombar danificada	Não captação de sinal	Impossibilidade de efectuar exames de coluna	0,001220	0,30	0,50	820	0,15	1	3	2	6
1142			Deficiencia de ligação o sistema não detecta a antena de coluna torácica / lombar	Bobine da coluna lombar desligada / cabo danificado	Não captação de sinal	Impossibilidade de efectuar exames de coluna	0,001220	0,30	0,50	820	0,15	1	3	2	6
											1,70				24

TESTE de LAPLACE

OB nº	Ti	N(Ti)	T 0
3168	257	1	820
3277	271	2	
4429	431	3	
5104	524	4	
6002	647	5	
6815	762	6	

SUM Ti	N
2892	6

Formulação de Hipóteses

Ho : Taxa de avarias é constante ($\lambda(t)$ = Cte.)

H1 : Taxa de avarias não constante ($\lambda(t) \neq$ Cte.)

Nível de Significância

$Z_{\alpha/2}$ = -1,95996

α = 5% $Z_{(1-\alpha/2)}$ = 1,959963

Cálculo da Estatística do Teste - Limitado no Tempo

$$ET = \left(\sqrt{12 \times N}\right) \times \left(\frac{\sum_{i=1}^{N} T_i}{N \times T_0} - 0,5\right)$$

ET = 0,7450

Regras de Decisão

ET > $Z\alpha$ => Rejeição de Ho

ET < $Z\alpha$ => Teste inconclusivo, aceita-se Ho

Decisão: **Teste inconclusivo, aceita-se Ho**

Valor de Prova: **Prob (ET ≥ 0,7450)=** 100,00%

TAXA de AVARIAS

$\lambda(T) = N(T)/T$

$\lambda(T)$ = 0,007317 /dia

MTBF = 137 dias

TESTE de LAPLACE

OB nº	Ti	N(Ti)	T 0
2705	194	1	820
3036A	238	2	
4401	427	3	
6004	647	4	

SUM Ti	N
1506	4

Formulação de Hipóteses

Ho : Taxa de avarias é constante ($\lambda(t)$ = Cte.)

H1 : Taxa de avarias não constante ($\lambda(t) \neq$ Cte.)

Nível de Significância

α = 5%

$Z_{\alpha/2}$ = -1,95996

$Z_{(1-\alpha/2)}$ = 1,959964

Cálculo da Estatística do Teste - Limitado no Tempo

$$ET = \left(\sqrt{12 \times N}\right) \times \left(\frac{\sum_{i=1}^{N} T_i}{N \times T_0} - 0,5\right)$$

ET = -0,2830

Regras de Decisão

ET > Zα => Rejeição de Ho

ET < Zα => Teste inconclusivo, aceita-se Ho

Decisão: **Teste inconclusivo, aceita-se Ho**

Valor de Prova: **Prob (ET ≥ -0,2830)=** 100,00%

TAXA de AVARIAS

$\lambda(T) = N(T)/T$

$\lambda(T)$ = 0,004878 /dia

MTBF = 205 dias

ANEXO - I

Cálculo da severidade

Modo de falha	Nº de falhas	Nº de Obra	Subconjunto/componente	Tempo de reparação (Tabela 5)		Consequencias funcionais (Tabla 4)		Severidade Falhas	Severidade Modo de falha
				Tempo	Classf.	Consequencia	Classf.		
1	3	1660 2354 5579	761-AA Cryo Compressor	0,01 0,50 7,50	1 1 4	Sem Consequencias Sem Consequencias Sem Consequencias	1 1 1	1 1 2	2
2	1	6626	761-AB Cold Head	12,00	4	Paragem Equipamento	4	4	4
3	1	3036B	775 - BEG Fans	0,75	1	Sem Consequencias	1	1	1
4	3	3036 5284 6893	775 - BEO Optical Disk Drive	0,75 4,67 0,50	1 3 1	Sem Consequencias Sem Consequencias Sem Consequencias	1 1 1	1 1 1	1
5	1	2151	775 -BM Operator Console Display	2,00	2	Redução Eficiencia	2	2	2
6	4	2705 3036A 4401 6004	777 - BHG Computer Gyroscan	0,25 0,50 0,75 0,50	1 1 1 1	Redução Eficiencia Redução Eficiencia Redução Eficiencia Redução Eficiencia	2 2 2 2	1 1 1 1	1
7	1	6618		2,25	2	Paragem Equipamento	4	2	2
8	1	2080		0,58	1	Redução Eficiencia	2	1	1
9	1	4006	763 - DM1 Gradient Amplifier Cabinet	2,00	2	Paragem Equipamento	4	2	2
10	3	2244 2371 6004A	764 -FR RF Power Amplifier	2,00 1,00 5,00	2 2 3	Paragem Equipamento Paragem Equipamento Paragem Equipamento	4 4 4	2 2 3	3
11	1	2025	769-FI Mains Inlet Unit	17,92	5	Paragem Equipamento	4	5	5
12	6	3168 3277 4429 5104 6002 6815	760-MA Magnet	2,00 2,00 1,50 2,00 2,00 1,00	2 2 2 2 2 2	Sem Consequencias Sem Consequencias Sem Consequencias Sem Consequencias Sem Consequencias Sem Consequencias	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1
13	1	3830	760-MB Magnet Monitoring Unit	0,50	1	Sem Consequencias	1	1	1
14	3	2744 3561 3752	760-MC PICU Front and Rear	3,50 0,50 1,50	2 1 2	Redução funcionalid. Redução funcionalid. Redução funcionalid.	3 3 3	2 1 2	2
15	1	4557	760-MVP Finger Protection	0,50	1	Paragem Equipamento	4	2	2
16	1	2624	762-MG Gradient Coil	100,22	5	Paragem Equipamento	4	5	5
17	1	6241	781-MSC Pat. Int.	1,50	2	Redução funcionalid.	3	2	2
18	2	2282 6757	765-SR Head Coil	1,00 4,50	1 3	Redução funcionalid. Redução funcionalid.	3 3	1 2	2
19	1	6017	780-SR Receive Coils	10,75	4	Redução funcionalid.	3	3	3
20	1	1142		7,50	4	Redução funcionalid.	3	3	3